

Universidad Pública de Navarra

*Nafarroako Unibertsitate Publikoa*

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN  
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO*

# **FILLER DE ALUMINIO PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS PUZOLÁNICOS SIN COCCIÓN**

presentado por

**Josu Oreja Arratibel** (*k*)

*aurkeztua*

**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN EXPLOTACIONES  
AGROPECUARIAS**  
*NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKO NEKAZARITZA ETA  
ABELTZAINZA USTIAPENAK BEREZITASUNA*

**DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E INGENIERÍA  
RURAL**



**Septiembre, 2011 / 2011, Iraila**



# UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA

## DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E INGENIERÍA RURAL



## FILLER DE ALUMINIO PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS PUZOLÁNICOS SIN COCCIÓN

**Por:**

**Josu Oreja Arratibel**

**Directores:**

**Andrés Seco Meneses**

**Francisco Ramírez Chasco**

**Septiembre de 2011**





## AGRADECIMIENTOS

Mediante estas palabras quisiera mostrar mi más profundo agradecimiento a los directores de este trabajo, Andrés Seco Meneses y Francisco Ramírez Chasco por haberme dedicado su tiempo, experiencia y haberme inspirado en esta línea de investigación, base para este trabajo.

A todo el departamento de Proyectos e Ingeniería Rural de la Universidad Pública de Navarra por poner a mi disposición los medios necesarios para poder desarrollar este trabajo.

A mis compañeros de laboratorio, en especial a Pablo Urmeneta por su ayuda inestimable y haber tenido paciencia en todo momento y a Luis Miqueleiz por su ayuda constante.

Por último, quisiera agradecer a mi familia y cercanos por su apoyo ininterrumpido y por haberles quitado el tiempo necesario para la realización de este trabajo.



## RESUMEN

Los residuos que se producen como consecuencia de la actividad productiva de muchas industrias, suponen un problema de almacenaje y eliminación para estas y un serio problema medioambiental y ecológico para los seres vivos. Por otra parte, en la construcción de hoy en día debe de ser prioritario tener en cuenta principios de sostenibilidad y de respeto por el medioambiente.

Por ello y uniendo estos dos conceptos, resulta muy interesante el producir materiales para la construcción a base de residuos industriales que de otra manera quedarían almacenados en vertederos de una manera inútil.

El presente trabajo propone crear ladrillos ecológicos, “Eco-Bricks”, para la construcción, empleando residuos de procesos industriales como son el Filler de Aluminio y las Cenizas Volantes de Carbón, con tres aditivos comerciales (Cal Aérea, Cal Hidráulica y el Cemento Portland) y sin la necesidad de cocerlos, puesto que se recurre al desarrollo de reacciones puzolánicas en un ambiente controlado.

El empleo de estos materiales como componentes de los ladrillos tiene un doble objetivo:

1. Valorizar el Filler de Aluminio y las Cenizas Volantes de Carbón. De esta manera vaciando los grandes vertederos y almacenes que contienen estos residuos y produciendo un producto muy empleado en la construcción.
2. Al emplear 3 tipos de aditivos comerciales en el desarrollo del presente trabajo, como son el Cemento Portland, Cal Aérea y Cal Hidráulica, permite comparar el primero con las cales y de esa manera poder sustituir el cemento en la producción de este tipo de ladrillos por la contaminación adicional que produce.



## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. OBJETIVO DEL TRABAJO .....	17
3. ESTADO DEL ARTE .....	19
4. METODOLOGÍA.....	27
4.1 Materiales del “target”.....	27
<b>4.1.1.</b> Marga.....	27
<b>4.1.2.</b> Filler de aluminio. ....	32
<b>4.1.2.</b> Filler de aluminio. ....	33
4.2. Materiales del ““binder””.....	35
<b>4.2.1.</b> Cemento Portland (PC).....	36
<b>4.2.2.</b> Cal Hidráulica Natural (NHL-5). ....	36
<b>4.2.3.</b> Cal Aérea (CL-90-S). ....	37
4.3 Composición de las mezclas y fabricación de ladrillos.....	40
4.4 Ensayos de laboratorio .....	46
<b>4.4.1.</b> Ensayo de densidad. ....	46
<b>4.4.2</b> Ensayo de resistencia a compresión simple. UNE-EN 772-1. ....	48
<b>4.4.3</b> Ensayo de absorción. UNE-EN 772-11.....	49
<b>4.4.4</b> Ensayo de Heladicidad. UNE 67028 EX.....	51
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	53
5.1. Densidad seca y contenido de humedad de cada combinación. ....	53
5.2. Variación de peso de las muestras durante el periodo de curado. ....	56
5.3. Desarrollo de resistencia a compresión simple.....	60
5.4 Absorción de agua y volumen de huecos de los ladrillos.....	72
5.5. Durabilidad de las diferentes combinaciones a ciclos de hielo/deshielo.....	82

6.	CONCLUSIONES.....	91
7.	NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....	95
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97
9.	ANEJOS	

ANEJO 1: FICHAS TÉCNICAS DE LOS ADITIVOS.

ANEJO 2: CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LOS LADRILLOS.

ANEJO 3: CURVAS DE DENSIDAD/ HUMEDAD.

ANEJO 4: ANEJO FOTOGRÁFICO.

ANEJO 5: NORMATIVA.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En la construcción de hoy en día debe de ser prioritario tener en cuenta principios de sostenibilidad y de respeto por el medioambiente, por ello es interesante el utilizar diversos desechos industriales y agrícolas en la fabricación de diferentes materiales para la construcción, como pueden ser adoquines o bloques, material de relleno y ladrillos. Además se debe de ir pensando en la sustitución parcial del cemento, producto estrella de la construcción generadora de un gran impacto medio ambiental, incorporando demandas mayores de energía y una mayor dependencia del petróleo. Todo esto es consecuencia de una concienciación general de la sociedad actual frente al derroche de energía de manera innecesaria, objetivos de mercado y de empresas, sin tener en cuenta el medioambiente tan necesario que nos rodea ni la prosperidad de las generaciones futuras.

Mediante el empleo de residuos en la fabricación de materiales de construcción se consigue aliviar e incluso eliminar un problema a muchas industrias que las producen, debido a las escasas soluciones que tienen hoy en día para su eliminación o aprovechamiento. Estos desechos de procesos industriales se amontonan en grandes vertederos o almacenes, dañando de una manera muy importante al medioambiente.

Un residuo que tiene este problema en la actualidad es el Filler de Aluminio, siendo un material proveniente del reciclaje de aluminio. Mediante el reciclaje de aluminio se consigue que los desechos o chatarras puedan ser reutilizados en otros productos tras su utilidad primaria. Para la obtención de este nuevo material el proceso de reciclaje es simple, únicamente teniendo que refundir el metal. Además se obtiene un nuevo material reutilizable para la industria de una manera mucho más barata y con una necesidad energética menor en la obtención del material, en comparación a la producción de aluminio fresco a través de la electrólisis de la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) tras ser

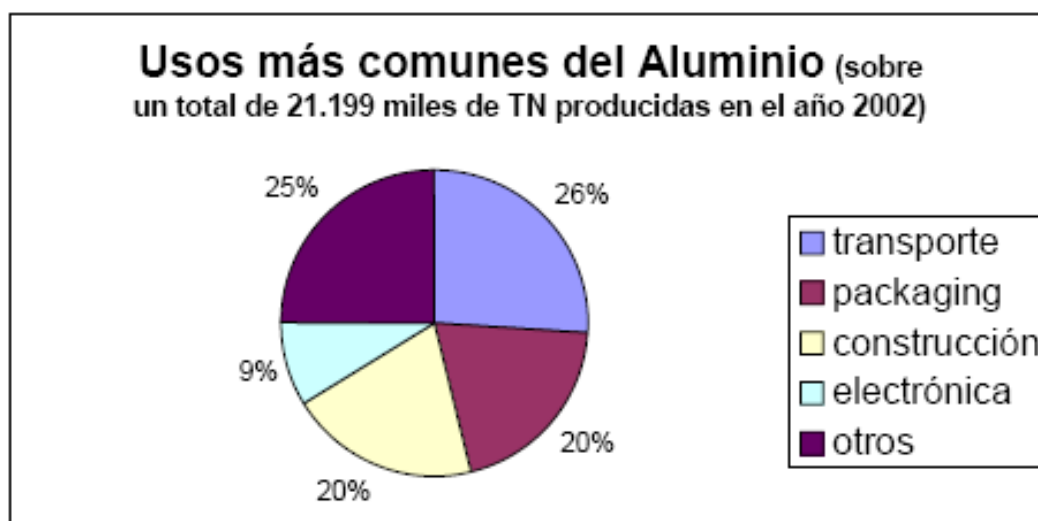
extraída de la mena de bauxita y después de haber sido refinada por medio del proceso Bayer. En la obtención del aluminio primario, para 1 tonelada de aluminio se requieren 2 toneladas de alúmina que se obtienen de 5 toneladas de bauxita y conllevando un consumo de energía en todo el proceso de 13000 Kw/H.

Como dato importante a remarcar es que el reciclado de aluminio desechado requiere solamente el 5 % de la energía que se consumiría para producir aluminio fresco procedente de materias primas. Los beneficios medioambientales del reciclado de desechos de aluminio en comparación de la producción de aluminio desde la materia prima también son muy abundantes, puesto que únicamente se produce un 5 % de CO<sub>2</sub>, llegando a ser menor este porcentaje si se toma al completo el ciclo de obtención del aluminio mediante la materia prima desde la cantera y su transporte hasta la planta de producción. La extracción de la bauxita se realiza por medio de canteras a cielo abierto, destruyendo una gran parte de la tierra natural del planeta e infringiendo un impacto medioambiental normalmente irreparable. Comparando los dos procesos de obtención de aluminio mediante una manera más material y más práctica, el producir una lata a partir de aluminio reciclado conlleva un 95 % menos de consumo de energía de lo que supondría a partir de materiales vírgenes.

Entre las diferentes fuentes de las que se nutren estas plantas de reciclado los desechos de aluminio incluyen partes de aeronaves, automóviles, bicicletas, cables y otros muchos materiales que necesiten de un material con alta conductividad, fuerte pero ligero. Una de las ventajas de este material es que al reciclarse no se daña la estructura del metal y puede ser reciclado indefinidamente. Las plantas de fundición o reciclado comercializan este material en tochos para su extrusión, placas para laminación y lingotes para fundiciones, siendo las empresas transformadoras los destinatarios principales. Los principales empleos del aluminio, por sus características



físicas de ligereza unida a una alta resistencia, son los del transporte y la construcción (FIGURA 1.1).



**FIGURA 1.1:** Gráfica representativa de los empleos del aluminio.

Otro residuo con la misma problemática de almacenamiento y de contaminación al medioambiente son las Cenizas Volantes de Carbón (CVC), obtenidas de la combustión del carbón en las centrales térmicas. El proceso de obtención de energía en estas centrales se hace de la siguiente manera: El carbón, normalmente apilado en grandes depósitos anejos a las centrales, se pulveriza antes de ser quemado en la cámara de combustión, el vapor de agua, “vapor vivo”, que se crea en las finas tuberías que rodean la cámara de combustión es dirigido a la turbina y este a su vez está unido a un generador. El vapor de agua “vapor muerto”, se condensa en una cámara especial y se vuelve a inyectar en las tuberías para no parar la cadena de producción de energía.

Como consecuencia de todo este proceso de obtención de energía se generan residuos y gases muy perjudiciales para el medioambiente y para la salud de los seres vivos, por ello y como uno de los motivos principales, estas centrales térmicas normalmente se localizan lejos de ciudades y núcleos urbanos. Entre los diferentes

compuestos contaminantes se encuentran el agua de refrigeración devuelta a los ríos a elevada temperatura, humos cargados de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y partículas en suspensión y cenizas residuos de combustión.

En España una parte muy importante de la energía que se emplea proviene de las centrales térmicas y por ello hay diez centrales de carbón con potencia superior a los 500 MW. Estas, en los últimos años han mejorado su rendimiento y reducido la cantidad de gases que vierten a la atmósfera. Pero siguen siendo las principales fuentes de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre (la ruta de la energía, Fundación Vida Sostenible, Ministerio de Medio Ambiente).

Las cenizas volantes de carbón ya han sido objeto de experimentos con anterioridad en otros trabajos de investigación y ya son muy utilizadas en la actualidad en constitución de caminos y ferrovías y como material para pavimentos, aditivos para suelos, aditivos en cemento y hormigón etc. (Cenizas volantes para fabricación de hormigón, informe técnico. Infraestructuras Balalva, S.L.). Por ello se han querido emplear en la producción de los ladrillos puzolánicos del presente trabajo, como sustituyente parcial del aditivo comercial y parte activa de las reacciones químicas a producirse.

Como antes se ha comentado la eliminación o aprovechamiento de residuos creados como consecuencia de procesos industriales están pendientes de una solución adecuada, pero por otro lado es imposible que estos residuos y desechos no se produzcan puesto que no se pueden parar potentes industrias como las ya descritas. Por lo tanto la realización de estudios de investigación en valorización de residuos es una necesidad cada vez mayor.

La marga gris de la Comarca de Pamplona es otro material que ha sido empleado en el presente trabajo. Se trata de un suelo marginal que se caracteriza por

tener unas malas propiedades para ser utilizado en la construcción y en el entorno de la ingeniería civil. Aunque no esté entre los objetivos directos del trabajo el valorizar este tipo de suelos, de una manera indirecta se intenta comprobar si este suelo es apto para la fabricación de ladrillos. De otra manera este material acabaría igualmente en un vertedero.

Por todo lo ya descrito hasta ahora, en este trabajo de investigación se ha desarrollado una metodología específica para la posible valorización del filler de aluminio como parte del cuerpo o “target” de los ladrillos, intentando introducir la mayor cantidad de este residuo siempre que no se vean aminorados considerablemente las propiedades físico - químicos de estos. Además en este trabajo se valorizan al mismo tiempo las cenizas volantes de carbón, aportándolos como parte del “binder” o cementante de los ladrillos puzolánicos.

La puesta en valor de estos dos residuos se ha realizado de diferente manera. En la parte del “target”, el filler se ha ido ensayando en diferentes porcentajes con marga gris de la “Comarca de Pamplona”. En porcentajes de 0 % de filler y 100 % de marga, un 20 % de residuo y un 80 % de suelo, 40 % y 60 % de cada uno y por último 60 % y 40 % respectivamente. A este “target” se le ha añadido un “binder”, suponiendo en total un 10 % del peso seco de cada una de las combinaciones del “target” que se han nombrado. Dentro de este 10 % de cementante, un 7 % han supuesto las Cenizas Volantes de Carbón (CVC) y ha sido constante en todas las mezclas. De esta manera se valorizan puesto que ya se sabe por bibliografía que aportan propiedades interesantes a los ladrillos, como un mejor acabado de los mismos y químicamente tienen una composición que ayuda en la cementación de estos. El 3 % restante han supuesto tres aditivos comerciales de carácter puzolánico, como cemento Portland (PC), cal hidráulica (NHL-5) y cal aérea (CL-90-S). De esta manera se sustituye en parte el

empleo de aditivos para las reacciones puzolánicas buscadas y valorizar residuos que aporten propiedades y que de otra manera no tendrían utilidad. Cada una de estas tres combinaciones del “binder” se ensayó con cada una de las 4 combinaciones del “target”, dando de esta manera un total de 12 combinaciones ensayadas y 252 ladrillos producidos para las pruebas.

La cal y el cemento son aditivos usados comúnmente en la ingeniería civil y en el mundo de la construcción y por este motivo han sido elegidos para su uso en este trabajo, en donde se realiza la fabricación de ladrillos puzolánicos ecológicos (unfired clay bricks). Este tipo de ladrillo tiene como principal ventaja frente a los ladrillos tradicionales que su fabricación se realiza totalmente en frío, con lo cual se elimina la fase de cocción, lo que supone un importante ahorro de energía.

El presente trabajo se ha realizado en el Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural y la fase experimental se ha desarrollado principalmente en el laboratorio de Mecánica de Suelos (UPNA). En él se ha querido determinar los porcentajes óptimos de suelo y filler de aluminio con los tres tipos de cementantes mencionados que obtengan los mejores resultados en los ensayos realizados, ofreciendo unas condiciones de resistencia y durabilidad aceptables de los ladrillos en situación de servicio. En las siguientes secciones se detalla la metodología de valorización del filler alumínico y de las cenizas volantes de carbón en la fabricación de ladrillos puzolánicos ecológicos

En el segundo apartado de este trabajo se especificarán los objetivos a cumplir en este trabajo. En el tercer apartado se presenta el estado del arte. En el 4º apartado se presenta de manera detallada el desarrollo experimental del trabajo, los materiales y componentes empleados, combinaciones realizadas, producción de los ladrillos y por último los ensayos realizados a estos. En el 5º apartado se comentan y se

discuten los resultados obtenidos. En el 6º apartado se exponen las conclusiones deducidas de este trabajo y por último en el apartado séptimo se proponen futuras líneas de investigación. Además, al final del todo se adjuntan unos anejos: el primero referente a las fichas técnicas de los aditivos, uno más con el cálculo del volumen de los ladrillos, otro con las curvas proctor de referencia empleados, uno más con una memoria fotográfica de la campaña experimental llevada a cabo y por último otro con la normativa aplicada.



## **2. OBJETIVO DEL TRABAJO**

El presente trabajo tiene como objetivo principal el de valorizar un residuo proveniente del reciclado del aluminio (Filler de Aluminio) y la producida por las centrales termoeléctricas como son las Cenizas Volantes de Carbón. La metodología de valorización se realizará fabricando ladrillos puzolánicos sin cocción (unfired clay bricks). Este objetivo principal se descompone en los siguientes puntos:

- Eliminar los depósitos en vertedero de ambos residuos, así como el impacto medio ambiental que provocan en la zona en la que se ubican.
- Mediante la valorización de estos residuos, el empleo de un suelo abundante en la “Comarca de Pamplona” y aditivos comerciales utilizados en el ámbito de la construcción, desarrollar ladrillos puzolánicos ecológicos de menor coste energético que los ladrillos convencionales, fabricando estos ladrillos con fines dirigidos a la construcción, ingeniería rural o civil.

Además mediante la realización de este trabajo experimental permite llevar a cabo otro objetivo secundario. Con el empleo de un cemento por un lado y de cales (cal hidráulica y cal aérea) por otro como aditivos comerciales en la fabricación de ladrillos, nos permite comparar si las cales aportan mejores propiedades a los ladrillos que el cemento y de esa manera poder sustituir este último en la producción de este tipo de ladrillos por la contaminación adicional que produce.





### **3. ESTADO DEL ARTE**

Los ladrillos cocidos convencionales como material de construcción se llevan empleando desde hace más de 5000 años (Construction Product Association, 2007 y Brick Development Association, 2009a). Estos han permitido la construcción de edificios duraderos y confortables. A lo largo de la historia se han empleado estos ladrillos para la construcción de diferentes edificios, viviendas etc. A finales del siglo XX, los ladrillos cocidos fueron usados generalmente en estructuras de media y baja altura, como revestimiento en muros de hormigón, pilares de acero y en tabiquería interna no portante. Hoy en día, los ladrillos cocidos son un material de construcción con unas propiedades excelentes de durabilidad, utilizados incluso en elementos estructurales de edificios, en muros externos y en un amplio rango de aplicaciones de la construcción.

El sector del ladrillo convencional se caracteriza, en España, por ser el más productor de este material en toda Europa, fabricando 30 millones de toneladas de ladrillos al año. Además hay que añadirle a esto la importancia económica de la fabricación del ladrillo cocido, con más de 200 empresas que se dedican a la fabricación de este material en España, con una riqueza económica alrededor de la fabricación de este material (Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida).

Otro aspecto que caracteriza a esta industria es la necesidad de grandes cantidades de energía para llevar a cabo su producción. Los hornos cerámicos utilizados en este tipo de industrias (que se necesitan poner a 900 – 1200 °C), son las responsables de estas grandes cantidades de energía, la mayoría consumiendo cantidades inmensas de combustibles fósiles y en cambio liberando a la atmósfera gases de efecto invernadero

que son al mismo tiempo nocivos para el ser humano. La industria ladrillera tiene en general una media de consumo anual de aproximadamente 4,06 billones kWh equivalentes de gas natural (CERAM, 2009). En términos de impacto ambiental, es difícil de comparar la contaminación generada por el sistema tradicional de fabricación de ladrillos y la fabricación de ladrillos en frío, puesto que los análisis que se han realizado hasta ahora tienden a mostrar resultados muy subjetivos en función de la procedencia de la fuente de financiación. En la **TABLA 3.1** se muestran los resultados obtenidos de algunas fuentes independientes (Oti et al 2009, BDA, 2008, Morton, 2008). En él se muestran los resultados de ladrillos tradicionales cocidos, adobes secados al sol, empleados en regiones muy secas como los países musulmanes, y ladrillos puzolánicos en frío.

<b>COSTE ENERGÉTICO Y AMBIENTAL</b>		
<b>Tipos de ladrillos</b>	<b>Coste energético (MJ/Tm)</b>	<b>Emisiones de CO2 (kg/Tm)</b>
<i>Ladrillos tradicionales cocidos</i>	4186,8	202
<i>Adobes con secado al sol</i>	525,6	25,1
<i>Ladrillos puzolánicos en frío</i>	657,1	40,95

**TABLA 3.1:** Resultados del coste energético y ambiental de los diferentes ladrillos.

Las cifras ahora mostradas hacen que este nuevo producto, el cual se ha desarrollado en el presente trabajo, sea 7 veces más ecológico y respetuoso con el medioambiente que los ladrillos tradicionales cocidos y además, la incorporación en el proceso de fabricación de residuos tales, como el filler de aluminio y las cenizas volantes de carbón utilizados en este trabajo, aumenta considerablemente su

sostenibilidad y contribuye enormemente a la lucha contra el calentamiento global de la tierra.

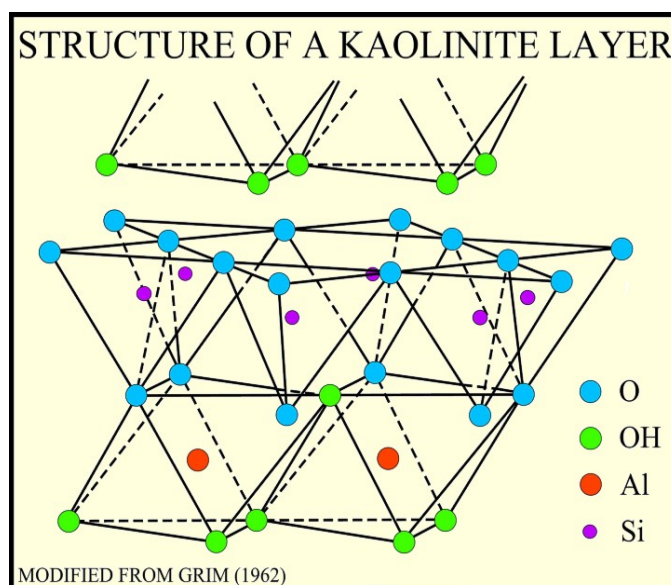
Estos dos aspectos en la fabricación de los ladrillos son ya desde hace bastantes años la principal preocupación de este sector. El incremento de la preocupación de esta industria por la contaminación al medioambiente y la sostenibilidad no es un caso aislado, sino que es una reacción general que se está dando en los países más desarrollados principalmente en muchos apartados, como pueden ser el de la agricultura con los pesticidas y abonos, el sector del automóvil con el consumo de biodiesel, las materias primas renovables y el aumento del reciclado etc.

Con el objetivo de mejorar significativamente el proceso de producción, reducir los consumos energéticos y la contaminación producida por la fabricación de ladrillos convencionales, se están llevando a cabo numerosas investigaciones en las cuales se pretenden obtener materiales de construcción como son los ladrillos, mediante el aporte de diferentes residuos de procesos industriales, cenizas, escorias... y aditivos comerciales a la arcilla. Así se busca que produzcan lo que se denomina como reacciones puzolánicas y finalmente obtener un material con buenas propiedades ingenieriles e interesantes para su empleo en la construcción.

Estas reacciones puzolánicas se producen mediante las puzolanas. Las puzolanas son materiales, naturales o artificiales, que contienen fundamentalmente silicio o silicio y aluminio (variando este conjunto entre un 70 – 80 %), esto les da un carácter ácido y, por tanto, una gran afinidad por la cal. Las puzolanas de por sí, no poseen valor cementante muy elevado, pero en estos ambientes ácidos, una vez molidas y en presencia de humedad se desarrollan las reacciones puzolánicas. Combinándose el Silicio y el Aluminio que forman parte de la estructura de las láminas de arcillas (**FIGURA 3.1**) se solubilizan y se combinan con el  $\text{Ca}^{2+}$  disponible, dando lugar a

compuestos cementantes denominados Calcio-Silicato-Hidratos (CSH) y Calcio-Aluminato-Hidratos (CAH) (Nalbantoglu, 2004; Guney et al., 2007; Yong y Ouhadi, 2007; Chen y Lin, 2008). Estos compuestos son los que se encargan de la mejora de las propiedades mecánicas de los ladrillos en este caso, que van aumentando con el tiempo a medida que las reacciones puzolánicas se van desarrollando.

En aquellos suelos en los que no se encuentran disponibles suficientes cantidades de Si y Al para producirse las reacciones puzolánicas, estos iones deben de ser incorporados con el estabilizante. Es muy recurrente el uso de estabilizantes como diferentes cales o el cemento Pórtland (ambos empleados en el presentes trabajo), estos compuestos aparte de en CaO son ricos en  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Wild et al., 1998; Degirmenci et al., 2007). El aumento de las propiedades mecánicas de los ladrillos dependerá directamente de la cantidad y riqueza de los estabilizantes, mineralogía del suelo empleado, tamaño y forma de las partículas y condiciones de curado (Misra et al., 2005; Yarbasi et al., 2007; Göktepe et al., 2008).



**FIGURA 3.1:** Estructura típica de las láminas de arcilla.

Hoy en día, son muchos los productos que se incluyen bajo el nombre de puzolanas. Se pueden encontrar una gran variedad de puzolanas, pero a continuación se clasifican por la procedencia:

**Puzolanas naturales:**

- Rocas volcánicas: En las que el constituyente amorfo es vidrio producido por enfriamiento brusco de la lava. Por ejemplo las cenizas volcánicas, la piedra pómez, las tobas, la escoria y obsidiana.
- Rocas o suelos: En las que el constituyente silíceo contiene ópalo, ya sea por la precipitación de la sílice de una solución o de los residuos de organismos de lo cual son ejemplos las tierras de diatomeas, o las arcillas calcinadas por vía natural a partir de calor o de un flujo de lava.

**Puzolanas artificiales:**

- Cenizas volantes: Las cenizas que se producen en la combustión de carbón mineral (lignito), fundamentalmente en las plantas térmicas de generación de electricidad.
- Arcillas activadas o calcinadas artificialmente: Por ejemplo residuos de la quema de ladrillos de arcilla y otros tipos de arcilla que hayan estado sometidas a temperaturas superiores a los 800 °C.
- Escorias de fundición: Principalmente de la fundición de aleaciones ferrosas en altos hornos. Estas escorias deben ser violentamente enfriadas para lograr que adquieran una estructura amorfa.
- Cenizas de residuos agrícolas: La ceniza de cascarilla de arroz, ceniza del bagazo y la paja de la caña de azúcar. Cuando son quemados

convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión.

En la actualidad, aparte de la cal o el cemento Portland, el empleo de residuos con capacidad puzolánica procedentes de la combustión de materiales, como las cenizas volantes de carbón (Misra et al., 2005; Yarbasi et al., 2007), las escorias de alto horno (Oti et al., 2009), el MgO (Xeidakis, 1996; García et al., 2004), las cenizas de combustión de residuos vegetales (Behak y Perez, 2008) etc. su aplicación en la fabricación de ladrillos puzolánicos ecológicos así como la propia fabricación de los mismos no se encuentran actualmente recogida dentro de normativa española. Por la bibliografía a continuación citada permite pensar que el empleo de estos en los ladrillos puzolánicos sin cocer permitirán alcanzar los parámetros mínimos que se exigen en la normativa actual sobre piezas para fábrica de albañilería. (Oti et al, 2008a., Oti et al, 2008b., Oti et al, 2008c.; UNE EN 772-1; UNE 67028 EX).

El residuo industrial empleado en el presente trabajo, filler de aluminio, es especialmente rico en óxidos de aluminio (67 - 74 %) y algo menos en óxidos de silicio (5 – 6 %). Aunque no es el objetivo de este trabajo tratar este residuo como cementante puzolánico, siempre participará en estas reacciones por poseer óxidos necesarios para ello. En cambio, el objetivo de las cenizas volantes de carbón si es la de participar en las reacciones puzolánicas por su riqueza en óxidos necesarios para que ocurran (52 % de óxidos de silicio y un 28 % de óxidos de aluminio). Además el empleo de este último residuo está corroborado por bastantes investigadores, aunque haya sido aplicado en otros ámbitos de la construcción como es de la estabilización de suelos, por ejemplo. (Kinuthia and Wild, 2001; Rao and Shivananda, 2005; Mckinley et al., 2001; Göktepe et al., 2008; Oti et al, 2009)

Los residuos anteriormente nombrados junto con un suelo arcilloso (marga gris, tan abundante en Pamplona y alrededores) y diferentes aditivos comerciales (Cal Aérea, Cal Hidráulica y Cemento Pórtland), en diferentes combinaciones ya mencionados en la introducción, permitirá la fabricación de unos ladrillos puzolánicos sin necesidad de cocción que podrían ser empleados en un futuro no muy lejano en diferentes sectores de la construcción.





## **4. METODOLOGÍA**

Para la fabricación de los ladrillos puzolánicos se han diferenciado dos partes: por un lado estaría el “target” y por otro lado el “binder”. Dentro del “target” o cuerpo de los ladrillos, los materiales empleados han sido una marga gris de la Comarca de Pamplona y el filler aluminico proveniente de una empresa de Valladolid (Befesa). Los aditivos comerciales utilizados como “binder” o cementante de los ladrillos han sido cal hidráulica (NHL-5), cal aérea (CL-90-S), cemento Pórtland (C) y las cenizas volantes de carbón (CVC). En el anejo 1 se especifican las características técnicas de cada uno de los aditivos empleados en este trabajo.

El hecho de trabajar con estos materiales no es algo que dependa del azar sino que es fruto de la experiencia, información bibliográfica y un paso más en la investigación de este apartado por parte de los directores de este trabajo, D. Andrés Seco Meneses y D. Francisco Ramírez Chasco, quienes junto con la ayuda del becario del Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural Luís Miqueleiz, me marcaron todos los pasos a dar antes y durante la realización del presente trabajo.

### **4.1 Materiales del “target”.**

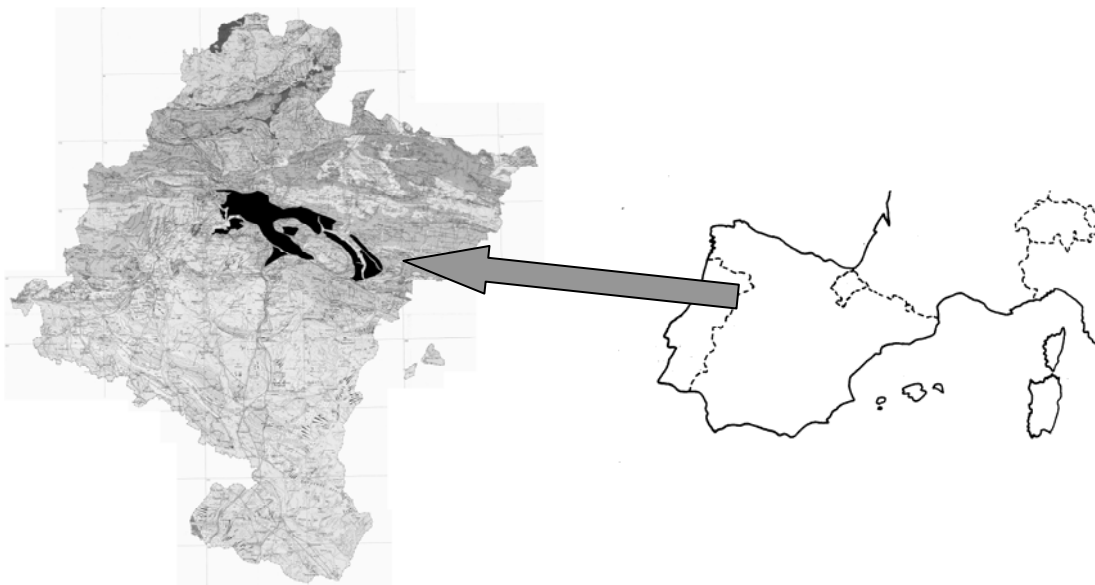
Tanto el filler aluminico como las margas empleadas durante la realización del proyecto se han almacenado en barriles independientes y herméticamente cerrados y dispuestos en el laboratorio (Ver **FOTO 4.1.1.1**)

#### **4.1.1. Marga.**

El suelo empleado en la realización de este estudio ha sido una muestra de la marga gris de la Comarca de Pamplona, situado al norte de España. Este tipo de suelos es bastante habitual en Navarra, pero con una presencia especial en Pamplona y alrededores, en toda la “Cuenca de Pamplona” (observar **FIGURA 4.1.1**).

Para la realización de trabajos pasados, este experimento y futuras campañas referentes a estas margas se extrajeron en su día 12 toneladas de marga natural de las obras de un aparcamiento subterráneo que se estaba realizando en la calle Esquiroz (barrio de Iturrama, Pamplona).

La marga que se emplea para este trabajo es una roca blanda de color gris, sin estratificación definida. Este tipo de margas se ha considerado representativo del conjunto de los suelos margosos de España, puesto que aunque no son iguales en todos los puntos difieren muy poco unas a otras. Por tanto los resultados que se obtengan del presente trabajo servirán como referencia para el conjunto de los suelos en España, a falta de realizar las pruebas pertinentes.

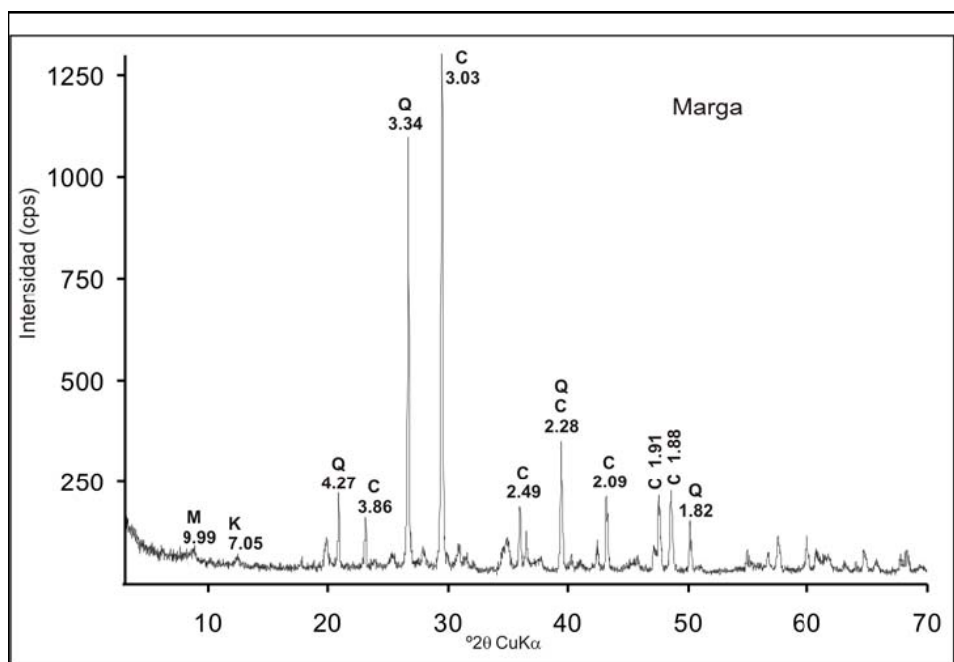


**FIGURA 4.1.1: Distribución de las margas grises de Pamplona en Navarra. (Fuente: Mapa Geológico de Navarra a escala 1:200.000).**

El estudio químico y de composición mineralógica para este trabajo se obtuvo de un trabajo anterior, en el cual también se emplearon las mismas margas. Este estudio se realizó mediante Difractometría de Rayos X (DRX). Exactamente se realizó un difractograma de polvo desorientado en un difractómetro de rayos X Philips X'Pert, en el Centro de ciencias medioambientales del Instituto de Ciencias Agrarias perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de Madrid.

Para la identificación de los diferentes cristales presentes en las muestras de este suelo, se utilizó la base de datos Power Diffraction File (PDF) del International Centre for Diffraction Data (ICDD). Además, utilizando los valores RIR (Reference Intensity Ratios) de la base de datos (PDF) y el método RIR (Chung, 1974) se determinó la composición de los componentes de las muestras.

La difracción dio como resultado un suelo formado por calcita, illita, cuarzo, caolinita, attapulgita y ankerita. El difractograma y las proporciones de los componentes mineralógicos se muestran en la **FIGURA 4.1.2** y la **TABLA 4.1.1**.



**FIGURA 4.1.2:** Difractograma de polvo desorientado de la muestra de

% En peso	Componente	Fórmula Química
51	Calcita	$\text{CaCO}_3$
20	Illita	$(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2, (\text{H}_2\text{O})]$
15	Cuarzo	$\text{SiO}_2$
5	Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
5	Attapulgita	--
4	Ankerita	$\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})(\text{CO}_3)_2$

**TABLA 4.1.1: Composición mineralógica de las margas grises de la “Comarca de Pamplona”.**

La caracterización física de este suelo se obtuvo de otro trabajo, en el cual lo caracterizaron mediante la determinación de los límites de Atterberg (normas UNE 103103 y UNE 103104). Según la clasificación de Casagrande modificado este suelo correspondió a la clase CL, es decir, un suelo con una baja capacidad portante y plasticidad. Mediante el ensayo de hinchamiento libre realizado con edómetro dio 1,77%, pudiéndose considerar como un suelo tolerable según el PG-3. La marga es muy meteorizable en contacto con el ambiente, siendo esta una de sus principales características junto con la baja capacidad portante. Es un suelo de color gris claro (Ver **FOTO 4.1.1.6**).

Para la realización de los ladrillos puzolánicos se decidió emplear este material a una granulometría inferior a 1 mm, de esta manera era previsible que los resultados que se obtendrían serían mejores al tener una mayor superficie específica para el desarrollo de las reacciones puzolánicas. Para ello tras dejar secar durante un

tiempo las margas (**FOTO 4.1.1.2**), se pasaron por la máquina de los ángeles (Ver **FOTO 4.1.1.3**) la cual tiene en su interior 17 bolas de acero que aprovechando el giro del bombo de la máquina va triturando el suelo. A continuación el material triturado se pasó por un tamiz (**FOTO 4.1.1.5**), eliminando las fracciones de suelo mayores a 12.5 mm. El siguiente paso fue pasar por una biotrituradora vegetal de cuchillas (**FOTO 4.1.1.4**), la cual nos permitió reducir aun más el tamaño de las partículas de marga y de una manera más rápida. Una vez hecho esto, lo último fue pasar por un segundo tamiz de menos de 1 mm y así quedarnos con los tamaños de marga que nos interesaban para nuestro trabajo (Ver **FOTO 4.1.1.6**), desde un punto de vista técnico.

Se ha elegido este suelo arcilloso para la realización de ladrillos puzolánicos con diferentes aditivos por los siguientes motivos:

- Hay mucha cantidad de este tipo de suelo en la “Comarca de Pamplona”, el cual se acumula en vertederos de materiales inertes tras ser extraído de obras, aunque tiene alguna utilidad para terraplenes, primeras capas de firmes...



**FOTO 4.1.1.1: Barriles de almacenamiento de material.**



**FOTO 4.1.1.2: Marga natural secada antes de ser triturado.**



**FOTO 4.1.1.3: Máquina de los ángeles.**



**FOTO 4.1.1.4: Biotrituradora vegetal.**



**FOTO 4.1.1.5: Tamices empleados de 12.5 mm y 1 mm**



**FOTO 4.1.1.6: Muestra de marga preparada.**

#### 4.1.2. Filler de aluminio.

El segundo componente del denominado como ““target”” del ladrillo es el filler de aluminio, seleccionado en trabajos anteriores como componente del “binder” por su riqueza en aluminio (Al), que junto con el calcio (Ca) y el silicio (Si) es uno de los tres principales componentes del cemento. En el presente trabajo, como ya se ha dicho con anterioridad, el objetivo principal es el de valorizar el filler aluminico y podernos deshacer de un residuo de la industria. Por lo tanto se intentará introducir en los ladrillos formando el cuerpo o la estructura de estos junto con el suelo, haciendo pruebas de menor a mayor cantidad con cada combinación de aditivo. Aunque esto no descarta que no aporte componentes necesarios para las reacciones puzolánicas.

El filler de aluminio empleado en este trabajo proviene de una de las plantas de Abengoa-Befesa Escorias Salinas localizada en Valladolid, C.C.A.A. de Castilla y León. Befesa es una compañía internacional especializada en la gestión integral de residuos industriales, y en la gestión y generación del agua. En general esta planta gestiona más de 1,8 Mt de residuos (acero, aluminio y otros residuos industriales), dedicando a la producción de nuevos materiales a través del reciclaje 1 Mt, que evitan la emisión de más de 0,6 Mt de CO<sub>2</sub> al año. En cuanto al filler, producen entre 80.000 - 110.000 de toneladas al año y lo venden en estado húmedo o seco (**FOTO 4.1.2.2**).

Residuo o desecho se considera como aquel producto que es generado en un proceso productivo en el que se busca producir otro producto y no tiene uso posible ni valor comercial. El filler de aluminio, exactamente, se obtiene por el reciclado de chatarra de aluminio para la obtención del llamado aluminio secundario y obteniéndose inevitablemente una escoria al mismo tiempo. El fundido de la chatarra de aluminio se realiza a una temperatura de  $750\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tras retirar la escoria y el hidrógeno disuelto, se desgasifica para poder obtener la aleación demandada. Esta



escoria, denominada escoria salina por su contenido en sales procedentes de la sal fundente utilizada en el horno de fundición, consiste fundamentalmente en una mezcla de dichas sales y alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Mediante un proceso industrial llevado a cabo en la planta de Valladolid, es tratada la escoria salina para obtener por un lado las sales y por otro lado un filler alumínico. El filler, en cuanto a aspecto físico es de color gris y muy homogéneo (Ver **FOTO 4.1.2.1**).

En la siguiente tabla se muestra la composición química del filler de aluminio. Como se puede observar en este material predomina la presencia de óxido de aluminio.

% PESO EN LOS ÓXIDOS							
Material	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$
<b>Filler de aluminio</b>	61-68	15-23	25-30	7-14	7-10	1,1-2,1	2-4

**TABLA 4.1.2:** Composición química del filler de aluminio.

Además de la composición química del producto es importante saber que este filler una vez separada la sal de la escoria de la cual procede, no resulta ni tóxico ni peligroso para la salud de quien vaya a manipularlo.



**FOTO 4.1.2.1:** Muestra de filler de aluminio



**FOTO 4.1.2.2:** Material proveniente de Abengoa-Befesa.



Para el presente trabajo ha sido muy importante que el filler que se ha utilizado estuviera completamente seco, por la importancia que esto tiene a la hora del cálculo del agua a añadir a las mezclas de los ladrillos, para la densidad de los mismos y para que ocurran correctamente las reacciones puzolánicas deseable. Por lo tanto el filler traído de la planta de Valladolid se ha tenido secando en una estufa de laboratorio durante 24h a 100 °C, antes de utilizarlo. Se deja secar a esta temperatura puesto que en 24 horas se seca completamente.

#### 4.2. Materiales del ““binder””.

Los 4 diferentes aditivos cementantes que se han empleado para la realización del trabajo se han almacenado en barriles independientes herméticamente cerrados (**FOTO 4.2**). Se escogieron estos aditivos para crear los ladrillos puzolánicos a partir de marga y el filler por experiencia y como continuación de la línea de investigación que se lleva a cabo en el Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural. A continuación se muestra una breve descripción de los diferentes aditivos:



**FOTO 4.2:** Barriles que contienen los aditivos. En orden de izq. a decha.: Cenizas volantes de carbón, cemento, cal hidráulica y cal aérea.

#### 4.2.1. Cemento Portland (PC).

El cemento empleado en este trabajo es un Cemento Pórtland TIPO II B-M VL 32.5 N según la norma UNE-EN 197-1. La utilización de este tipo de cemento en proyectos de ingeniería civil, como la estabilización de suelos para bases y sub-bases de carreteras, es muy habitual. Además se utiliza en muchos otros ámbitos de la construcción como cimentaciones, morteros prefabricados etc.

El cemento que se ha empleado en el desarrollo de este trabajo es de color gris-marronaceo y se comercializa en polvo grueso similar a la cal hidráulica. Para más información sobre este aditivo, consultar **ANEJO 1: FICHAS TÉCNICAS DE LOS ADITIVOS**.



FOTO 4.2.1.1: Muestra de cemento (C).



FOTO 4.2.2.1: Muestra de cal hidráulica (NHL-5).

#### 4.2.2. Cal Hidráulica Natural (NHL-5).

Como segundo aditivo cementante empleado para los ladrillos puzolánicos se ha utilizado la cal hidráulica natural o más conocida vulgarmente como cal “sucia”, ya que la materia prima utilizada para la fabricación de la misma esta compuesta por un 20% de arcilla. El proceso de calcinación de esta arcilla le proporciona a este material óxidos solubles como  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Su característica principal al tener entre su composición estos componentes es que esta cal tiene la capacidad de fraguar al entrar en

contacto con el agua, convirtiéndolo como antes se ha dicho en un conglomerante hidráulico con capacidad cementante. Esta cal es comercializada en un polvo un poco más grueso que la cal aérea o las cenizas volantes de carbón por ejemplo, y es de color beige. Si se desea saber más y el porcentaje en peso de los diferentes óxidos de este aditivo queda recogido en el **ANEJO 1: FICHAS TÉCNICAS DE LOS ADITIVOS**.

La clasificación de la cal hidráulica natural según la norma UNE-EN 459-1, 2 y 3 es NHL-5. Esta cal es empleada principalmente en morteros, pinturas etc. Siendo este aditivo muy adecuado para la utilización en la estabilización de suelos de carácter arcilloso, principalmente por su alto contenido en calcio y sus buenas propiedades puzolánicas. Actualmente, su uso en proyectos civiles como la estabilización de suelos no es muy común debido a que, el actual Pliego de Prescripciones Técnica para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) no lo menciona (Bustos, 2001).

#### 4.2.3. Cal Aérea (CL-90-S).

De acuerdo a la norma UNE-EN 459-1, la cal aérea utilizada en el desarrollo de este trabajo manufactura como CL-90-S. La cal aérea se obtiene de hidratar tras ser calcinada la roca caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) y es de origen calcáreo. Las empresas comercializadoras de este producto lo hacen en sacos individuales que contienen un polvo muy fino y de color blanco. En el **ANEJO 1: FICHAS TÉCNICAS DE LOS ADITIVOS** viene especificado las características químicas de esta cal y más información.

La cal aérea es muy utilizada para mejorar las propiedades físicas de suelos arcillosos, de esta manera la naturaleza arcillosa de los suelos a tratar permite al Ca de la cal CL-90-S combinarse con los iones de Al y Si de la matriz arcillosa. Esto conlleva una mejora de su trabajabilidad, su puesta en obra y sus propiedades mecánicas. Al

contrario de lo que sucede con la cal hidráulica, esta cal es recomendada junto con el cemento para la estabilización de suelos por la legislación española (Bustos, 2004).



FOTO 4.2.3.1: Muestra de cal aérea (CL-90-S).



FOTO 4.2.4.1: Muestra de las cenizas volantes de carbón (CVC).

#### **4.2.3 Cenizas Volantes de Carbón (CVC).**

Las cenizas volantes de carbón durante el desarrollo del trabajo se las ha denominado con la abreviatura de CVC, por ser las iniciales de dicho producto. Estas cenizas se obtienen tras el proceso de combustión del carbón y ser finamente divididos. Las cenizas volantes son aquellas partículas que en el proceso de combustión quedan suspendidas en los gases adquiriendo forma esférica por la tensión superficial, mientras que las partículas gruesas se precipitan al fondo de la caldera de combustión. Las cenizas son ricas en  $\text{SiO}_2$ , en más de un 50% del peso de los óxidos y el fabricante lo presenta como un polvo muy fino y de color grisáceo. Para ver la composición química de las cenizas y más información sobre este aditivo ir al **ANEJO 1: FICHAS TÉCNICAS DE LOS ADITIVOS**.

Tradicionalmente estos productos de combustión han sido utilizados como materiales de construcción en obras de ingeniería civil, como puede ser como aditivo en cemento y hormigón, en construcción de caminos y ferrovías y como material para



pavimentos, aditivos para suelos, **fabricación de ladrillos**, etc. Sin embargo la industria hormigonera es la que más a apostado por las cenizas, dada la multitud de propiedades (a destacar la puzolanicidad) que les reportan.



Mapa de España, en el cual se explicita la procedencia geográfica de los diferentes materiales y aditivos que se han empleado en este trabajo.

### 4.3 Composición de las mezclas y fabricación de ladrillos.

Como ya se ha explicado al inicio de la metodología todas las combinaciones realizadas en este trabajo se componen por dos partes, el “target” o cuerpo de los ladrillos y el “binder” o la parte cementante de los mismos. Las diferentes combinaciones que se han realizado se muestran con detalle en las **TABLAS 4.3.1, 4.3.2 y 4.3.3**. En estas tablas se puede observar que son un total de 12 combinaciones. Se diferencian tres subdivisiones en las combinaciones, en cada una de estas se emplea un 3 % de aditivo comercial (cemento, cal aérea o cal hidráulica), más un 7 % de las cenizas volantes de carbón. El porcentaje de aditivo comercial óptimo se fijó en el 3 %, siendo según la bibliografía y la experiencia de los directores del trabajo, cantidad suficiente para conseguir las propiedades resistentes deseadas (Oti et al 2008a; Oti et al 2008b; Oti et al 2008c; Oti et al 2009). Además se ha introducido un 7 % de las CVC, para estudiar si mejora las propiedades de los ladrillos puzolánicos. Con cada uno de estos aditivos comerciales y las CVC se han realizado cuatro combinaciones, variando la proporción de margas-filler en el “target” y de esta manera observando cómo afecta en las propiedades de los ladrillos las diferentes cantidades de este residuo. La variación de estos ha sido en 100 % marga 0 % filler, que haría de control de cada aditivo, 80 % marga 20% filler, 60 % marga 40 % filler y por último 40 % marga y 60 % filler.

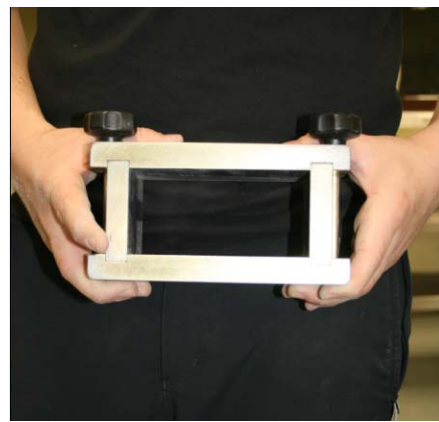
Cada ladrillo está determinado por un número y cada combinación con la abreviatura del aditivo comercial empleado y los % de marga y filler, puesto que es lo que varía, y perfectamente definidos en una base de datos informática. La razón de esto es el llevar un orden y una programación perfectamente definida con el objetivo de evitar confusiones y posibles fallos en la realización de ensayos y toma de resultados.

Para cada combinación se prepararon 21 ladrillos rectangulares (20 para las diferentes pruebas durante los 90 días y 1 para el ensayo de densidad), cada uno de 500

g de peso, 60 mm de ancho y 125 mm de largo. La altura de los ladrillos de cada combinación varió en función de la densidad de sus componentes (Ver **FIGURA 4.3.1** y **FIGURA 4.3.2**). Los ladrillos de este estudio no son macizos sino que en la parte superior tienen un rebaje con el sello de la UPNA, debido al diseño del macho que se empleó en la compactación. La realización de los ladrillos con este diseño, como ya se explicará más adelante, conllevó a hacer las pruebas de rotura a compresión simple de una única manera.



**FIGURA 4.3.1:** Tipología del ladrillo utilizado en los ensayos.



**FIGURA 4.3.2:** Molde empleado en la creación de los ladrillos

Todos los ladrillos se crearon sin ningún tipo de cavidad u oquedad, y los dañados a la hora de compactar y desmoldar fueron desechados y se hicieron otros nuevos. Aunque la metodología llevada a cabo en la fabricación de estos ladrillos no es la más rápida y se necesita mucho más material para la producción de estos que las probetas realizadas en otros trabajo, se decidió realizar estos ladrillos específicamente para este trabajo puesto que era la forma geométrica que más se asemeja a los ladrillos que se realizan en la actualidad. Todos los ladrillos fueron compactados a 10 MPa, aunque exista bibliografía en la cual los ladrillos se compactan a 15 Mpa, se decantó por la fuerza de compresión ya dicha.

Para el Contenido Óptimo de Humedad (Wop) de cada combinación del presente trabajo se tuvo como referencia otro trabajo anterior a este. En dicho trabajo se realizaron ensayos proctor con diferentes proporciones de marga gris, filler aluminico y cal aérea (marga más 0 %, 1 %, 2 % y 3 % de filler). Para calcular los Wop de cada combinación, previamente se realizó la determinación del Wop y densidad seca máxima (DSM) de la marga sola mediante una curva de densidad/humedad (curvas D/M) obtenida en el laboratorio de mecánica de suelos de la UPNA (**ANEJO 3: CURVAS DE DENSIDAD/HUMEDAD**). Una vez determinada la DSM y el Wop de la marga sola, se determinó la variación lineal de la DSM y el Wop mediante sucesivas curvas D/M con porcentajes diferentes de filler. Con el Wop y la DSM de cada combinación se optimiza el esfuerzo de compactación de la máquina y se garantiza la hidratación necesaria para las reacciones puzolánicas necesarias.

Mediante los datos obtenidos en estos ensayos, por la diferente bibliografía consultada y con la experiencia previa mediante pruebas realizadas antes de empezar el trabajo, se estimó la humedad necesaria a aportar a cada una de las combinaciones en función de la cantidad de filler que tenía y el aditivo que se empleaba. En general, a mayores proporciones de filler mayores eran las necesidades de humedad de la mezcla y de los aditivos comerciales, la cal aérea era la que más humedad necesitaba por su baja densidad aparente (Ver **TABLA 4.3.2**).

Una vez estimadas las relaciones de humedad óptima, % de filler y tipo de aditivo, se realizaron las mezclas de los componentes del “target” y del “binder” en las proporciones establecidas para cada combinación. Para los 21 ladrillos de cada combinación era necesario hacer en dos partes, puesto que la mezcladora de laboratorio que se empleó en este trabajo no mezclaba bien más de 5-7 kg a causa de su volumen. De cada mezcla que se preparaba salían 10 ladrillos, sabiendo que cada ladrillo tenía



que pesar 500 g y teniendo en cuenta las pérdidas de material que se daban al pasar por la biotrituradora vegetal y en todo el proceso de fabricación en general, cada mezcla pesaba alrededor de 6 kg. Cada mezcla preparada se premezclaba en seco durante 5 minutos en la mezcladora de laboratorio. A continuación se añadía la cantidad correspondiente de agua de cada mezcla y se terminaba de mezclar durante 10 minutos más con el fin de garantizar la máxima homogeneidad.

A continuación, se procedió a pasar cada una de las mezclas por la biotrituradora vegetal. De esta manera se deshacían los pequeños agregados que se formaban en la mezcladora y se obtenía un material homogéneo, en cuanto al tamaño de las partículas de la mezcla, haciendo más fácil la compactación de los ladrillos. La compactación estática de las muestras se realizó con una velocidad de compactación de 1 (Mpa)/s hasta alcanzar una presión de compactación de 10 Mpa.

Una vez compactados los ladrillos se desmoldaron y se envolvieron en papel film, cada una individualmente para que se pesaran y se clasificaran. Por último los ladrillos, sin mezclar combinaciones, fueron envueltos en papel de aluminio por parejas (**FOTOS 4.3.3 y 4.3.4**) para evitar una desecación prematura, un correcto curado y puesto que para cada ensayo se iban a emplear un par de ladrillos, estuvieran en las mismas condiciones de curado constantemente.



**FOTO 4.3.3: Una combinación envuelta en papel film y de aluminio.**



**FOTO 4.3.4: Ladrillos almacenados y en proceso de curado.**

Aditivos "“binder”"	Nombre de la combinación	Componentes del ladrillo	Materiales	%
<b>Cemento Portland (C) + C.V.C</b>	<b>C 0-100</b>	"target"	Filler	0%
			Marga	100%
		"binder"	PC	3%
			C.V.C	7%
	<b>C 20-80</b>	"target"	Filler	20%
			Marga	80%
		"binder"	PC	3%
			C.V.C	7%
	<b>C 40-60</b>	"target"	Filler	40%
			Marga	60%
		"binder"	PC	3%
			C.V.C	7%
	<b>C 60-40</b>	"target"	Filler	60%
			Marga	40%
		"binder"	PC	3%
			C.V.C	7%

TABLA 4.3.1: Combinaciones ensayadas con el cemento y las cenizas volantes de carbón.

Aditivos "“binder”"	Nombre de la combinación	Componentes del ladrillo	Materiales	%
<b>Cal Hidráulica (NHL-5) + C.V.C</b>	<b>NHL-5 0-100</b>	"target"	Filler	0%
			Marga	100%
		"binder"	NHL-5	3%
			C.V.C	7%
	<b>NHL-5 20-80</b>	"target"	Filler	20%
			Marga	80%
		"binder"	NHL-5	3%
			C.V.C	7%
	<b>NHL-5 40-60</b>	"target"	Filler	40%
			Marga	60%
		"binder"	NHL-5	3%
			C.V.C	7%
	<b>NHL-5 60-40</b>	"target"	Filler	60%
			Marga	40%
		"binder"	NHL-5	3%
			C.V.C	7%

TABLA 4.3.2: Combinaciones ensayadas con la cal hidráulica y las cenizas volantes de carbón.

Aditivos "“binder”"	Nombre de la combinación	Componentes del ladrillo	Materiales	%
Cal Aérea (CL-90-S) + C.V.C	CL-90-S 0-100	"target"	Filler	0%
			Marga	100%
		"binder"	CL-90-S	3%
			C.V.C	7%
	CL-90-S 20-80	"target"	Filler	20%
			Marga	80%
		"binder"	CL-90-S	3%
			C.V.C	7%
	CL-90-S 40-60	"target"	Filler	40%
			Marga	60%
		"binder"	CL-90-S	3%
			C.V.C	7%
	CL-90-S 60-40	"target"	Filler	60%
			Marga	40%
		"binder"	CL-90-S	3%
			C.V.C	7%

TABLA 4.3.3: Combinaciones ensayadas con la cal aérea y las cenizas volantes de carbón.

### % HUMEDAD A APORTAR

Combinación	%	Combinación	%	Combinación	%
C 0-100	9	NHL-5 0-100	8,5	CL-90-S 0-100	10
C 20-80	9,5	NHL-5-20-80	9	CL-90-S 20-80	10
C 40-60	9,5	NHL-5 40-60	9,3	CL-90-S 40-60	10,5
C 60-40	10,3	NHL-5 60-40	9,3	CL-90-S 60-40	10,5

TABLA 4.3.4: Humedad a aportar en las mezclas de cada combinación

## 4.4 Ensayos de laboratorio

Desde el punto de vista metodológico, durante la fase experimental del presente trabajo, se han llevado a cabo 4 tipos de ensayo en laboratorio: Ensayo de medición de densidad de las combinaciones, ensayo de resistencia a compresión simple, ensayo de absorción y por último el ensayo de heladicidad.

Mediante estos ensayos se pretendió analizar 7 resultados de interés en la producción de ladrillos. En el apartado resultados de este trabajo, se comentarán la diferencia de densidades y % de humedad en función de los componentes de los ladrillos (combinaciones), pérdida de peso de los ladrillos durante el curado así como el aumento de resistencia de los mismos, absorción de agua, % del volumen huecos de los ladrillos, resistencia a condiciones extremas y variación de la resistencia a compresión simple a 45 ciclos de los ladrillos sometidos a estas condiciones exteriores.

La decisión de llevar a cabo estos ensayos y de analizar los resultados nombrados es fruto de la experiencia de los directores del trabajo, información bibliográfica (tomando como referencia el artículo científico “Engineering properties of unfired clay masonry bricks” J.E. Oti, J.M. Kinuthia, J. Bai) y todo ello siguiendo fundamentalmente las normas UNE 41410 y 67028 EX, UNE-EN 772-1 y 772-11.

### 4.4.1. Ensayo de densidad.

Este ensayo se llevó a cabo con la finalidad de conocer y comparar la diferencia de densidad y de % de humedad que existía entre los diferentes grupos de combinaciones, por emplear diferentes aditivos y por necesitar diferentes % de humedad para el correcto desarrollo de las reacciones puzolánicas También de observar la variación de la densidad y humedad dentro de un mismo grupo de ladrillos con el mismo aditivo pero con diferentes proporciones filler y marga.

Como se ha explicado con anterioridad, para la realización de este ensayo se necesitó un único ladrillo de cada combinación. A los ladrillos que se les realizó este ensayo, se llevaba a cabo el mismo día en el que se fabricaban. Para la realización de este ensayo se empleó una estufa de laboratorio. El procedimiento llevado fue el siguiente: Primero se pesaba la bandeja de ensayo ( $t$ ), a continuación se rompía el ladrillo en la bandeja y se pesaba de nuevo para saber el peso de los materiales con el agua ( $t+s+a$ ). Después se metía la bandeja a la estufa durante 24 horas a 100 °C (**FOTO 4.4.1.1**), de esta manera nos asegurábamos que se perdía toda la humedad, por último se pesaba la bandeja una vez sacada de la estufa ( $t+s$ ). A continuación se muestran las fórmulas empleadas para el cálculo de la densidad y % de humedad de cada combinación. Para el cálculo de densidad se calculó lo más minuciosamente posible el volumen de los ladrillos, variando únicamente la altura de estos en función de las combinaciones (**ANEJO 2: CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LOS LADRILLOS**)

**FÓRMULA 4.4.1.1**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{((t + s + a) - (t + s))}{((t + s) - t)} \times 100$$

**FÓRMULA 4.4.1.2**

$$\text{Densidad } \rho \left( \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{((t + s) - t)}{\text{Volumen del ladrillo}}$$

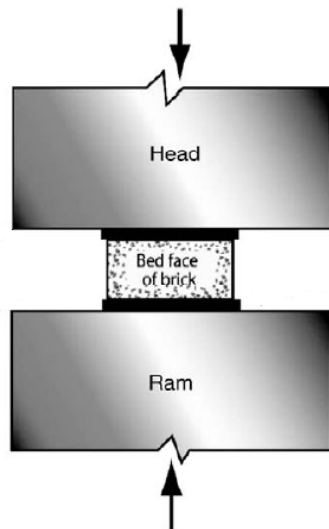


**FOTO 4.4.1.1:** Ladrillos sometidos al ensayo de densidad, secando en la estufa.

#### 4.4.2 Ensayo de resistencia a compresión simple. UNE-EN 772-1.

Con el fin de conocer y estudiar la ganancia de resistencia de los combinaciones a lo largo del tiempo, se utilizaron 10 de los 21 ladrillos realizados, las cuales se ensayaron en parejas a compresión simple a las edades de 1, 7, 14, 28, 56 y 90 días. Este ensayo se llevó a cabo con una prensa multi-ensayo normalizada de 5 toneladas, ejerciendo una carga continua sobre la muestra de 0,1 (MPa)/s hasta la completa rotura de la misma tal y como dicta la norma UNE EN 772-1. En la **FIGURA 4.4.2.1** se puede ver una pequeña simulación de cómo rompe la prensa multi-ensayos los ladrillos. A la hora de romperlos y tras haber realizado unas cuantas pruebas previas con diferentes machos y posturas de los ladrillos, se decidió ensayarlos con el mismo macho y coincidiendo con la misma cara como cuando se crearon (**FOTO 4.4.2.1**).

Como ya se ha dicho con anterioridad, el curado de los ladrillos hasta el día del ensayo se realizó en el laboratorio a temperatura constante de  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  envueltos en un film de plástico transparente con otro film de aluminio por encima. Con este sistema se evita la desecación de los mismos y asegura la disponibilidad de humedad en los ladrillos, manteniendo los ladrillos en las mejores condiciones posibles para el desarrollo químico de las reacciones puzolánicas. Como medida de control, cada uno de los ladrillos fue pesado antes de ser ensayado a compresión simple. Aplicando la ley que Antonio Lorenzo Lavoiser (1743-1794) promulgó en 1768 “*La conservación de la materia*”, se deduce, que la variación de peso que sufren los ladrillos durante el curado es debida a una pérdida de humedad por desecación. De esta manera asegurar que los resultados obtenidos de resistencia son debidos al efecto cementante de los aditivos y no a una desecación elevada de las muestras.



**FIGURA 4.4.2.1:**  
Simulación de un ensayo  
de rotura.



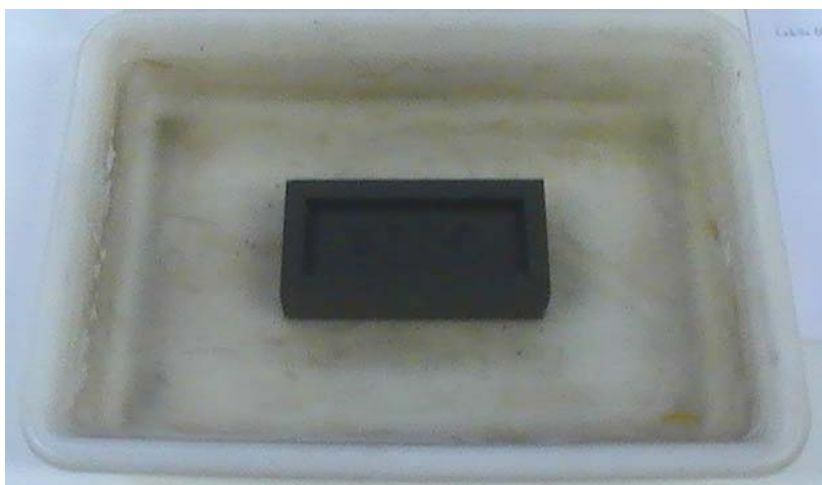
**FOTO 4.4.2.1:** Prueba de  
rotura a compresión simple  
de un ladrillo.

A los ladrillos 0-100 de las diferentes combinaciones de aditivos (a 3 meses) y algunos de los ladrillos tras pasar los 45 ciclos de hielo-deshielo, se les realizó la prueba de resistencia a compresión simple en la prensa multi-ensayo normalizada de 20 toneladas que el Laboratorio de Ensayos de Navarra (LABENSA) tiene en el polígono de Landaben. Se tuvieron que realizar allí las pruebas porque el del laboratorio no podía romperlos por tener una resistencia mayor que la presión que podía ejercer esta.

#### 4.4.3 Ensayo de absorción. UNE-EN 772-11.

Mediante esta prueba se pretendió determinar cómo variaba la capacidad de absorción de los ladrillos de diferentes mezclas conforme aumentaban los días de curado de los mismos. Para esta prueba se emplearon 8 de los 21 ladrillos preparados, los cuales se ensayaron por parejas a 7, 28, 56 y 90 días. Para llevar a cabo este ensayo no se necesitó más que una bandeja de plástico de laboratorio y agua, la bandeja debía poder contener una altura de agua mayor a la altura de los ladrillos. Los ladrillos que fueron ensayados se les quitó el film de plástico y de aluminio envolventes durante el

curado, se pesaron en el momento, se les midió la altura y se metieron a inmersión, a las 24 horas los que resistieron esta prueba se pesaron de nuevo y se metieron a la estufa durante otras 48 horas. Por último una vez pasado este tiempo se pesaron por última vez. Los que no resistían o se deshacían, se les daban como nulos en este ensayo. Mediante una fórmula se obtenía el % de absorción de los ladrillos (Ver **FORMULA 4.4.3.1**).



**FOTO 4.4.3.1: Ensayo de inmersión.**

Era de interés en este trabajo, siguiendo los pasos del artículo en el que se basa y que se ha nombrado anteriormente, calcular el volumen de los huecos presentes en los ladrillos. Al principio esta propiedad se calculó mediante el procedimiento y los cálculos que el artículo proponía. Pero tras llevar a cabo el cálculo de unos cuantos ladrillos de esta manera y dar unos resultados muy alejados de la realidad, se decidió que por falta de instrumentos suficientes en el laboratorio y por indicaciones de los directores de este trabajo calcular los huecos mediante otras fórmulas y aprovechando los datos que en este ensayo se iban recogiendo (**FÓRMULA 4.4.3.3**). Así Pues, los ladrillos que no resistieron el ensayo de inmersión se consideraban nulos también para el cálculo de huecos.



- **FÓRMULAS:**

$$\text{FÓRMULA 4.4.3.1} \quad \text{Tasa de absorción(\%)} = \frac{\text{Peso mojado} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

$$\text{FÓRMULA 4.4.3.3} \quad \text{Volumen de huecos(\%)} = \frac{\frac{\text{Peso mojado} - \text{Peso preinmersión}}{\rho_{\text{agua}}}}{\text{Volumen del ladrillo}} \times 100$$

#### 4.4.4 Ensayo de Heladicidad. UNE 67028 EX.

Para caracterizar la durabilidad de las combinaciones ensayadas en condiciones extremas, una pareja de ladrillos de cada combinación fueron sometidos a ciclos de hielo/deshielo. El procedimiento de este ensayo en el presente trabajo no ha sido tal y como dicta la norma, sobre todo por falta del material necesario para realizarlo de tal manera. Por lo tanto en vez de seis ladrillos de cada combinación se han expuesto a este ensayo 2 ladrillos de cada una de ellas. Estos estuvieron desde el principio y hasta el final del ensayo envueltos con el mismo film de plástico que fueron envueltos el día de su fabricación en vez de una bolsa de plástico que los aísle completamente del entorno la fase de deshielo de cada ciclo se ha realizado dejándolos en una mesa del laboratorio a temperatura ambiente y los ciclos se adaptaron a las capacidades técnicas y humanas disponibles en el laboratorio en el momento del ensayo. Así pues, el único instrumento o máquina que se empleó fue una cámara frigorífica con circulación de aire, como uno cualquiera que se pueda disponer en una casa.

Primero, los dos ladrillos de cada combinación que iban a ser sometidos a este ensayo se dejaron curar durante 7 días, envueltos en film transparente y de aluminio y en las mismas condiciones de humedad y temperatura que el resto. Al culminar los 7 días, se desenvolvieron los ladrillos del film de aluminio y tras ser pesados se

introdujeron en la cámara frigorífica para someterlos a 45 ciclos de hielo/deshielo. Cada ciclo constaba de 24 horas en el interior de la cámara a una temperatura de  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (**FOTO 4.4.4.2**) y otras 24 horas encima de la mesa de laboratorio y a la temperatura del mismo:  $20\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (**FOTO 4.4.4.1**). Por lo tanto todos los ladrillos de esta prueba estaban durante los 90 ciclos envueltos por el film de plástico.

Como medidas de control para determinar la degradación sufrida durante el ensayo, todos los ladrillos fueron pesados antes de iniciar los ciclos y una vez cumplidos 3 ciclos, 14 ciclos, 28 ciclos y 45 ciclos. Durante el tiempo que se sometían estos ladrillos a temperaturas extremas, se iban revisando por si había daños importantes en los ladrillos y desgarros del film de plástico que los protegía, en este caso se recubrían de nuevo con el plástico para evitar grandes pérdidas de peso por humedad que distorsionaran los resultados finales. Al concluir los ciclos del ensayo, se procedió a la inspección ocular de todas las piezas, comprobando por última vez los cambios superficiales sufridos por los ladrillos (desconchados, grietas, orificios...). Además, todos los ladrillos se ensayaron a compresión simple, aunque no esté exigido por la norma UNE 67028 EX, para poder determinar la pérdida de resistencia que tenían los ladrillos expuestos a ciclos de condiciones extremas respecto a los ladrillos que curaban durante 90 días en condiciones normales de curado.



**FOTO 4.4.4.1:** Ladrillos en la fase de deshielo de los ciclos.



**FOTO 4.4.4.2:** Ladrillos en la fase de hielo de los ciclos.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Densidad seca y contenido de humedad de cada combinación.

En las FIGURAS 5.1.1, 5.1.2 y 5.1.3 se representan gráficamente la densidad seca y el contenido de humedad de cada uno de los tres grupos de combinaciones divididos en función de los aditivos comerciales empleados, de la misma manera que en las tablas mostradas en la metodología anteriormente (TABLAS 4.3.1, 4.3.2 y 4.3.3).

En el primer grupo de combinaciones realizada con **cemento** como aditivo (FIGURA 5.1.1), las densidades alcanzadas en función de la cantidad de filler variaban desde 1,93 g/cm<sup>3</sup> de la combinación C 0-100 hasta 1,63 g/cm<sup>3</sup> de la combinación C 60-40, suponiendo una diferencia del 15,54 % entre ellas. La relación entre la densidad y el filler es que desciende 0,005 g/cm<sup>3</sup> por cada porcentaje de filler añadido. Las densidades de este grupo de combinaciones resultaron ser las más altas de los tres grupos de combinaciones. En cambio, los contenidos de humedad con los que empezaron el proceso de curado los ladrillos fueron desde los 9,43 % de la combinación C 0.100 hasta los 11,86 % de la combinación C 60-40. La relación entre la humedad y el filler es de 0,04 puntos de agua por cada porcentaje de filler añadido.

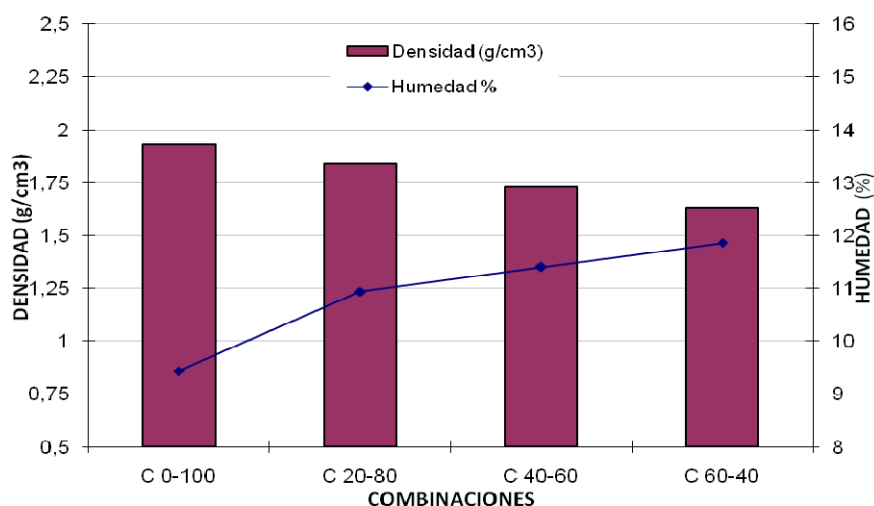
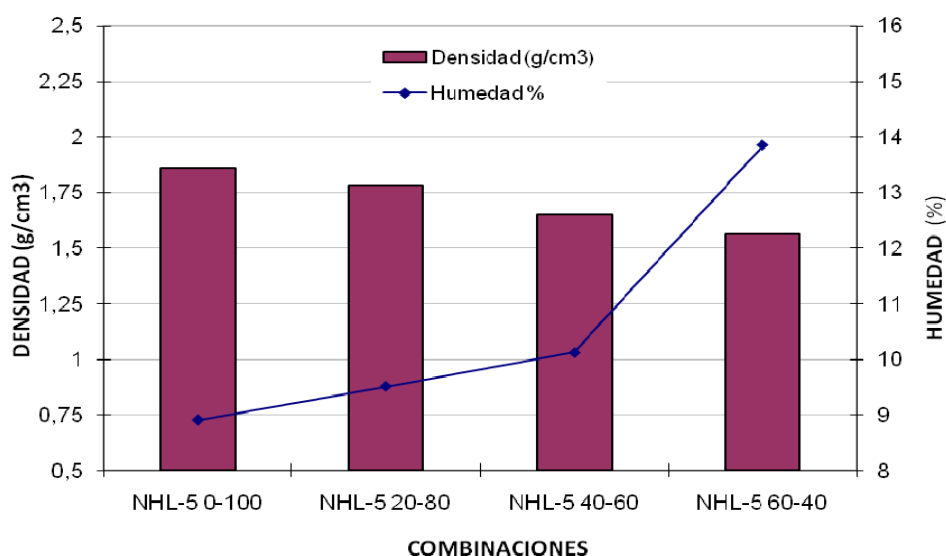


FIGURA 5.1.1: Densidad y % de humedad de cada combinación con el cemento C como aditivo. Fuente: Elaboración propia.

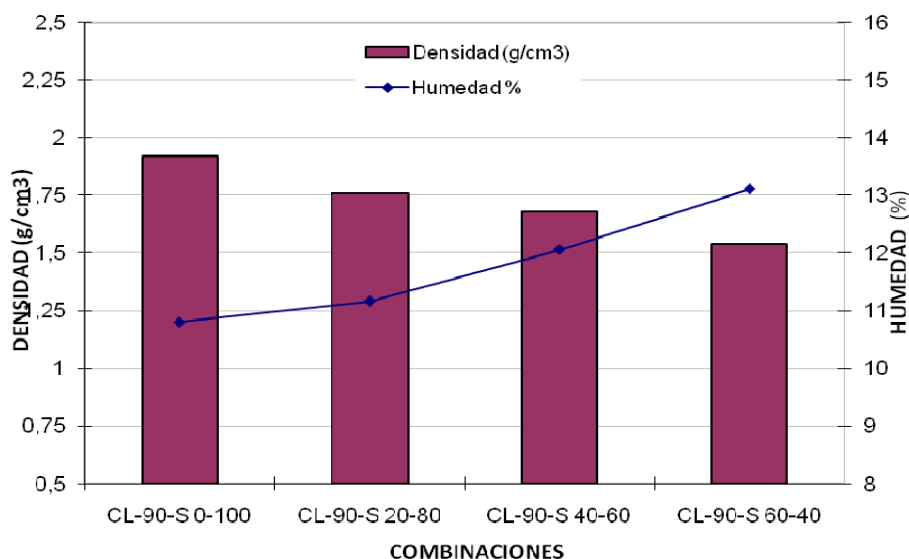
Las densidades obtenidas del grupo de combinaciones realizadas con **cal hidráulica (FIGURA 5.1.2)** varían de 1,86 g/cm<sup>3</sup> de la NHL-5 0-100 a 1,56 g/cm<sup>3</sup> de la NHL-5 60-40. Esto supone una diferencia de 16,13 % desde la combinación que no tiene filler hasta la que tiene un 60 % de filler como componente del “target” y un descenso de densidad de 0,005 g/cm<sup>3</sup> por cada de porcentaje de filler que se le añade. Esta relación es la misma que en las combinaciones del cemento puesto que la diferencia entre la combinación que no tiene filler y la que tiene un 60 % de filler es el mismo en los dos casos, 0,3 puntos. En cuanto a la humedad de las combinaciones varían desde 8,9 % de la NHL-5 0-100 hasta 13,85 % de la NHL-5 60-40. La relación entre la humedad y el filler es de 0,08 puntos de agua por cada porcentaje de filler añadido.



**FIGURA 5.1.2:** Densidad y % de humedad de cada combinación con la cal hidráulica NHL-5 como aditivo. Fuente: Elaboración propia.

Por último, las densidades alcanzadas por las combinaciones realizadas con **cal aérea (FIGURA 5.1.3)** presentan una diferencia de densidad del 19,8 % desde la combinación que no tiene filler hasta la que contiene un 60 % de filler, variando las densidades entre 1,92 g/cm<sup>3</sup> de la combinación CL-90-S 0-100 y 1,54 g/cm<sup>3</sup> de la CL-

90-S 60-40. Esto supone una relación entre la densidad y el porcentaje de filler de un descenso de  $0,0063 \text{ g/cm}^3$  por cada porcentaje de filler. El contenido en humedad, en cambio, varía desde 10,8 % de la CL-90-S 0-100 hasta 13,11 % de la CL-90-S 60-40, siendo la relación entre el contenido en humedad y el filler de 0,038 puntos por cada porcentaje de filler añadido.



**FIGURA 5.1.3:** Densidad y % de humedad de cada combinación con la cal aérea CL-90-S como aditivo. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en este ensayo demuestran que existe una relación directa entre la densidad de las diferentes mezclas y el % de humedad que tienen estas, este contenido en humedad lo forman por un lado el agua aportado por nosotros a la hora de preparar las mezclas (**TABLA 4.3.4**) y por otro la humedad que retiene en su microestructura la marga gris, puesto que no ha sido secado completamente este material en la estufa. En general en los tres grupos de combinaciones se observa que las mezclas más densas son las que menos húmedas están y las menos densas son las que más húmedas están, principalmente porque se les tuvo que aportar más agua para que estuvieran en el estado óptimo para la compactación de los ladrillos. Entre los diferentes grupos de combinaciones, en función de los aditivos empleados, no hay mucha

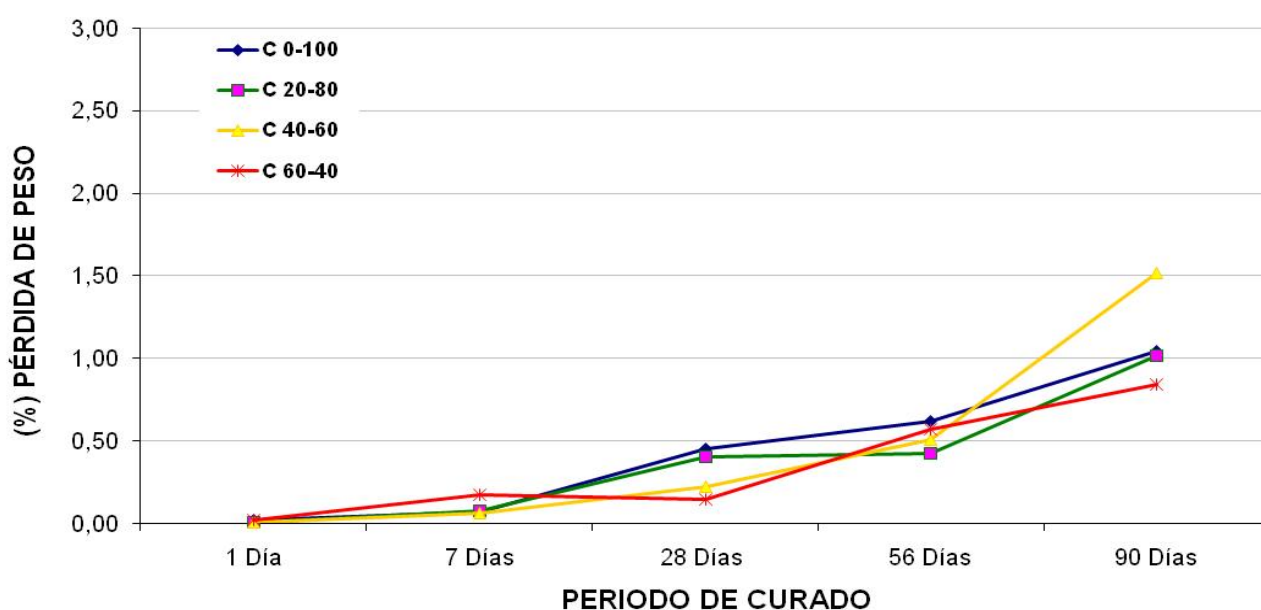
diferencia entre las densidades y humedades puesto que los materiales que más peso tienen en estos dos parámetros son la marga y el filler, pero aun y todo el grupo de combinaciones realizados con la cal aérea es el menos denso, por la finura ( $700 \text{ m}^2/\text{Kg}$ ) y la baja densidad ( $500 \text{ Kg/m}^3$ ) del aditivo, y en cambio el que más humedad tiene puesto que se le tuvo que aportar el que más agua. Entre las densidades del grupo de combinaciones formado con cemento y con cal hidráulica apenas no hay diferencia. Pero en % de humedades, entre la combinación sin filler y la que tiene un 60 % de filler, las de la cal hidráulica necesitan menos agua y más agua respectivamente en comparación con las del cemento. Dentro de cada grupo de combinaciones se repite que a más cantidad de filler como componente de las mezclas menos densas son y más humedad tienen, por ser menos denso el filler que la marga y por lo tanto al tener que aportar más agua.

## **5.2. Variación de peso de las muestras durante el periodo de curado.**

En las **FIGURAS 5.2.1, 5.2.2 y 5.2.3** se representan las variaciones de peso sufridos por los ladrillos en el momento que fueron ensayados a compresión simple a las edades de 1, 7, 28, 56 y 90 días de curado. Se supone, de acuerdo con lo comentado en la metodología, que las variaciones de peso que se dan en los ladrillos se deben a la desecación sufrida por los mismos durante el tiempo de curado hasta el día de ensayarlos. En general, en las tres figuras se puede observar que ninguna de las 12 combinaciones supera el 2,5 % de pérdida de peso a las edades de 1, 7, 14, 28, 56 y 90 días, en comparación al peso que tenían los ladrillos el día en que fueron fabricados.

En la **FIGURA 5.2.1** se representan las variaciones de peso de las combinaciones de cenizas volantes de carbón y cemento C 0-100, C 20-80, C 40-60 y C 60-40. En esta figura se puede observar que las probetas no sufren grandes variaciones de peso hasta los 56 días de curado, no son mayores a del 0,4 %. En cambio, en el

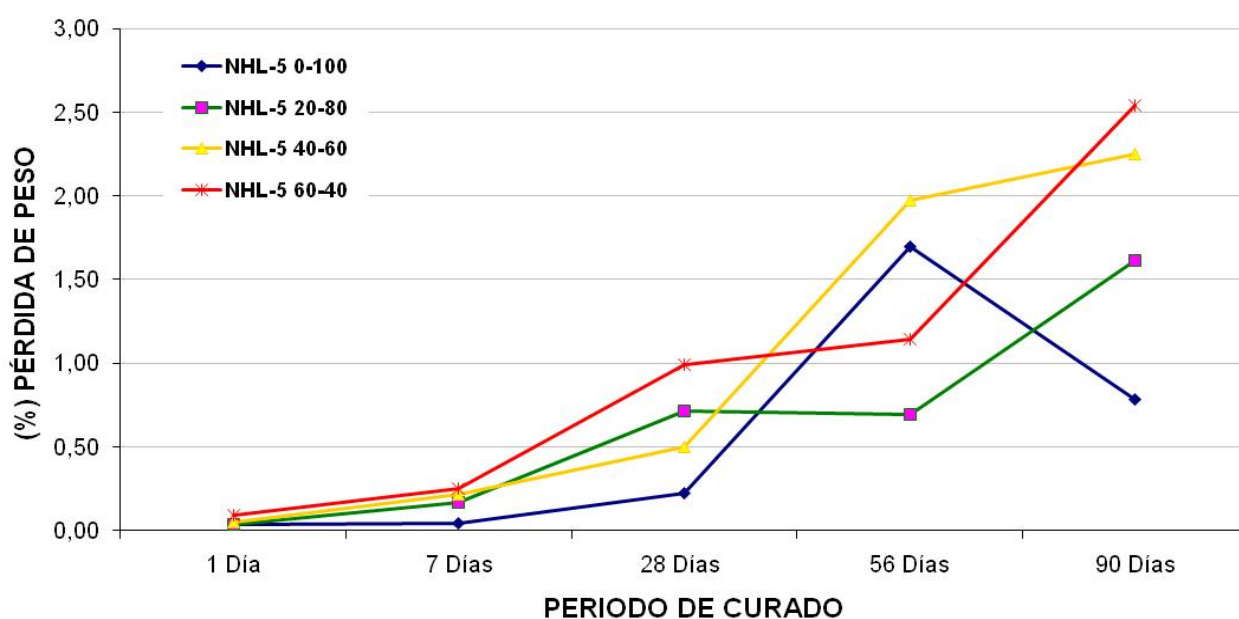
tiempo de curado que va desde los 56 hasta los 90 días, la pérdida de peso aumenta considerablemente en las 4 combinaciones, situándose entre 0,5 % y 1 %, este último significativamente alto en el caso de C 40-60 pudiendo ser debido a que se rompiera alguno de los dos film envolvente de los ladrillos. Como se explicará en el siguiente punto, todas estas pérdidas de peso no afectaron a los valores de resistencia de los ladrillos al realizarles el ensayo de compresión simple.



**FIGURA 5.2.1:** Variación de peso de los ladrillos de cemento a las diferentes edades de ensayo.  
Fuente: Elaboración Propia.

La pérdida de peso de los ladrillos del grupo de combinaciones de la cal hidráulica NHL-5 0-100, NHL-5 20-80, NHL-5 40-60 y NHL-5 60-40 quedan representadas en la **FIGURA 5.2.2**. En esta figura se observa como la pérdida de peso es bastante lógica y normal hasta el día 28 de curado, siendo la NHL-5 60-40 la que más peso pierde a esta fecha con la pérdida de un 1 % del peso inicial. Aunque al día 90 de curado la NHL-5 60-40 termina siendo la que más peso pierde, desde el día 28, hasta el 90, se observa como la pérdida de peso sufre unos saltos bastante bruscos, por ejemplo

con pérdidas de peso de entre el 1,5 % y el 2 % por las combinaciones NHL-5 40-60 y NHL-5 0-100. También cabe destacar que los ladrillos NHL-5 0-100 de 90 días de curado perdieron menos peso que los de 56 días de curado. Todo lo dicho hace pensar que el haberlas envuelto mal o que se rompieran durante el proceso de curado los film de plástico y de aluminio son las causantes de estos cambio tan bruscos. Como más adelante se verá esto no afectó en exceso a los valores de resistencia obtenidos, a excepción del NHL-5 0-100, que sí le afectó. Aun y todo, los problemas con las envolturas de los ladrillos da pie a la posibilidad de probar con otras metodologías de envolver ladrillos en futuros trabajos, como puede ser el meter los ladrillos en bolsas de plástico cerradas herméticamente y de manera individual por ejemplo.

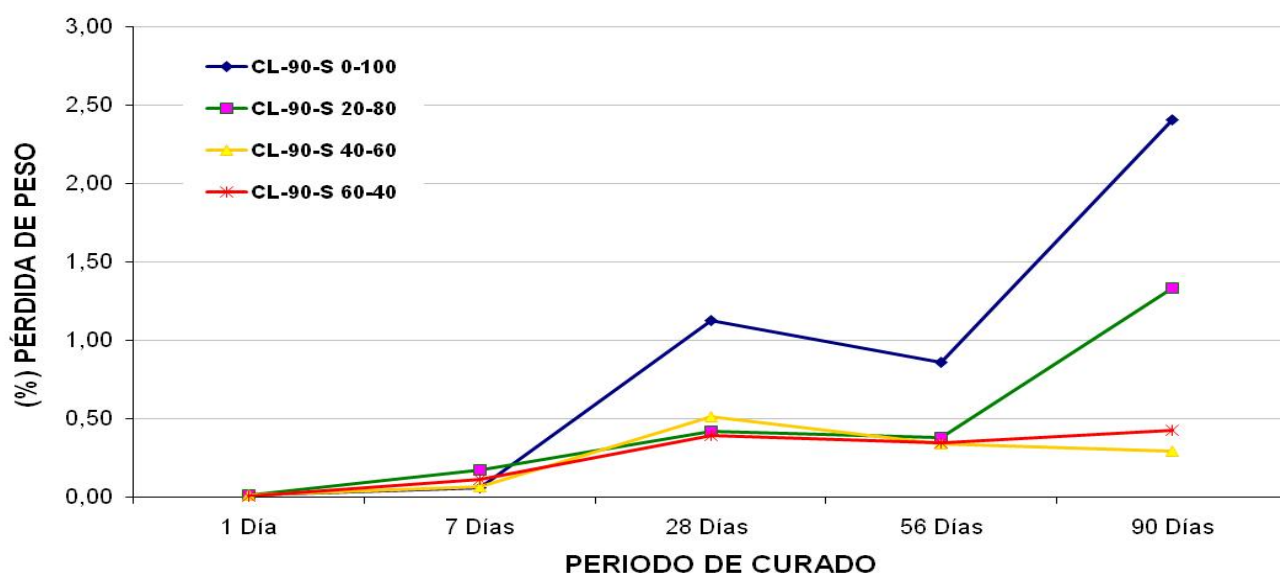


**FIGURA 5.2.2:** Variación de peso de los ladrillos de cal hidráulica a las diferentes edades de ensayo.  
Fuente: Elaboración Propia.

Por último, las combinaciones CL-90-S 0-100, CL-90-S 20-80, CL-90-S 40-60 y CL-90-S 60-40 realizadas con cal aérea quedan representadas en la **FIGURA 5.2.3**. En ella se puede observar que en los primeros 7 días de curado la pérdida de peso



es bastante baja en las 4 combinaciones, entre 0,1 % y 0,3 %. Después de 1 mes curando la combinación CL-90-S 0-100 aumenta la pérdida de peso hasta aproximadamente un 1,2 % del peso inicial, mientras que la del resto se sitúa por debajo del 0,5 %. A los 56 días de curado, los ladrillos pesados antes de ensayarlos tuvieron una pérdida menor de peso que los pesados a 28 días. A los 90 días los ladrillos de CL-90-S 0-100 y de 20-80 tuvieron un salto muy brusco de pérdida de peso, de 1,5 % y 1 % respectivamente, mientras que las otras dos combinaciones la pérdida de peso fue similar a la de 28 días de curado. Esto demuestra que los ladrillos ensayados a 28 días sus envolturas de plástico y aluminio no estaban en correcto estado, así como los de las combinaciones CL-90-S 0-100 y 20-80 a 90 días de curado. Como se mostrará en el siguiente apartado esto no repercutió en absoluto a los valores de resistencia de los ladrillos ensayados a compresión simple.



**FIGURA 5.2.3:** Variación de peso de los ladrillos de cal aérea a las diferentes edades de ensayo.  
Fuente: Elaboración Propia.

A vista de los resultados obtenidos de las variaciones de peso a lo largo del periodo de curado y que en todos los casos la pérdida de peso de los ladrillos ensayados

a compresión simple no ha sido mayor de 2,5 %, se puede decir que el funcionamiento de la metodología del sistema de curado es efectivo, pero no perfecto. Como el contenido en humedad de los ladrillos es aceptable, se pueden garantizar que se dan las condiciones idóneas para que se produzcan las reacciones puzolánicas a largo plazo, pudiendo aumentar la resistencia de estos durante más de 40 meses (Wild et al., 1998). Entonces, con los resultados obtenidos, se puede asegurar la eficacia del sistema de curado y se corrobora que la ganancia de resistencia de los ladrillos es debido al efecto cementante de los aditivos seleccionados y que por lo tanto no se produce por una desecación acentuada de los mismos.

### **5.3. Desarrollo de resistencia a compresión simple.**

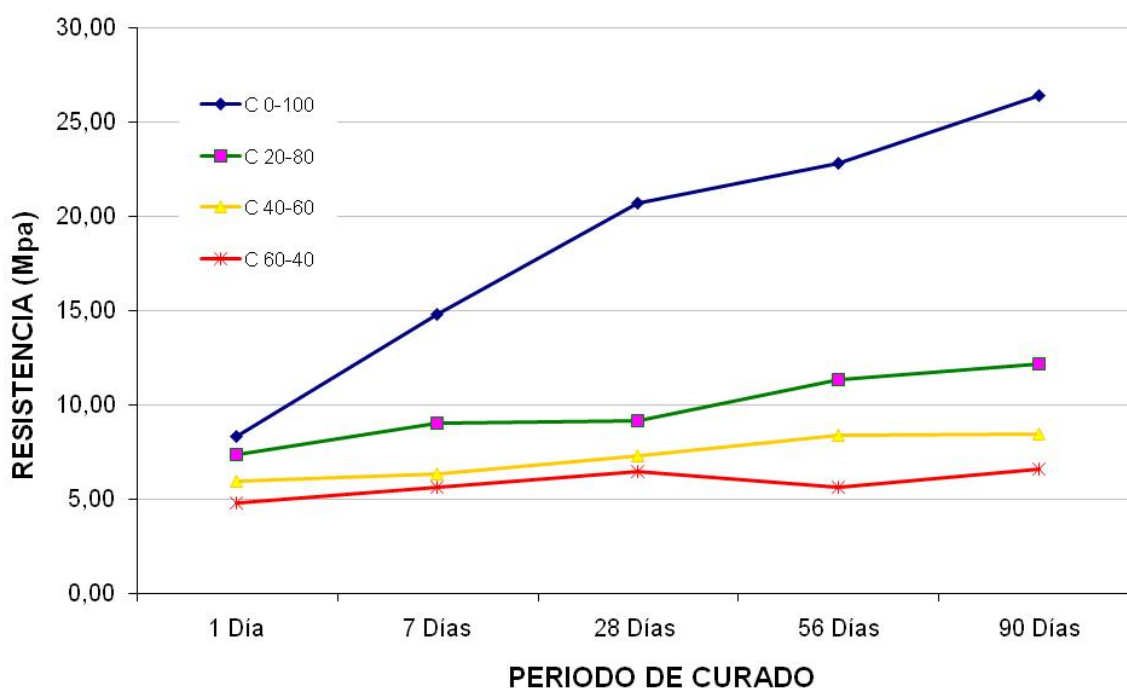
En las siguientes figuras y tablas se mostrarán los desarrollos de resistencia a compresión simple que han tenido las diferentes combinaciones a las edades de 1, 7, 28, 56 y 90 días. Los ladrillos ensayados han sido los mismos a los que se les calculó la pérdida de peso durante el curado, por lo tanto se podrá establecer una comparación entre la variación del peso de los mismos con el desarrollo de la resistencia que hayan tenido. En general, se podrá observar que el desarrollo de la resistencia ha sido muy diferente en función del aditivo comercial empleado y de las cantidades de filler de las combinaciones.

En la **TABLA 5.3.1** y la **FIGURA 5.3.1** se muestran los datos del desarrollo de resistencia del grupo de combinaciones realizado con cemento como aditivo comercial. En ellas se puede observar que existe una diferencia muy considerable entre las combinaciones que tienen entre sus componentes el filler y la combinación que no tiene, a 7 días de curado el C 0-100 casi dobla la resistencia a compresión simple desarrollada en comparación con la de la C 20-80, dobla a la C 40-60 y casi triplica la de la combinación C 60-40. Además, esta diferencia aumenta conforme pasan los días

de curado, llegando a ser 5 veces mayor la resistencia de la C 0-100 que la de C 60-40 a los 90 días de curado. La resistencia desarrollada por la C 40-60 y la C 60-40 son muy bajas, aumentando en 90 días únicamente un 42 % y un 39 % la resistencia. En cambio, la combinación C 20-80 se ve que desarrolla algo mejor llegando a tener una resistencia de 12,15 Mpa a 90 días.

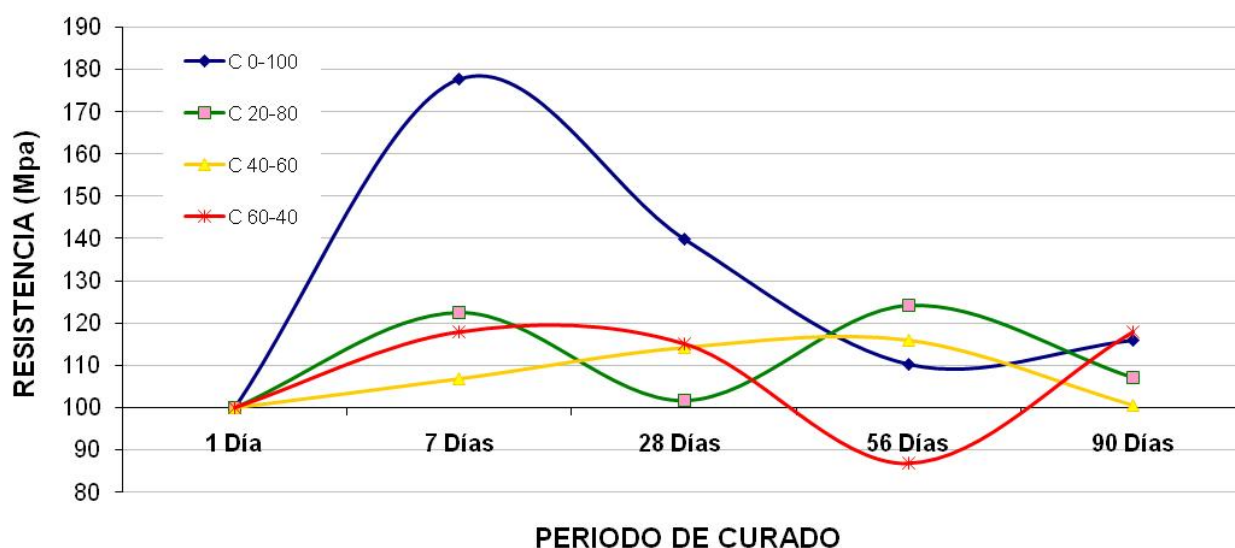
RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (Mpa)						
COMBINACIÓN	ADITIVO Y % FILLER	EDADES DE CURADO				
		1 DÍA	7 DÍAS	28 DÍAS	56 DÍAS	90 DÍAS
C 0-100	Cemento y 0 % Filler	8,33	14,8	20,7	22,8	26,41
C 20-80	Cemento y 20 % Filler	7,35	9	9,15	11,35	12,15
C 40-60	Cemento y 40 % Filler	5,95	6,35	7,25	8,4	8,45
C 60-40	Cemento y 60 % Filler	4,75	5,6	6,45	5,6	6,6

**TABLA 5.3.1:** Valores obtenidos en el ensayo de compresión simple para el grupo de combinaciones del cemento C. Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA 5.3.2:** Desarrollo de la resistencia de ladrillos con cemento C. Fuente: Elaboración propia.

En la **FIGURA 5.3.2** se puede observar que la combinación C 0-100 desarrolla el mayor incremento de resistencia en los primeros 7 días de curado, llegando casi al doble de lo que tenía a 1 día de curado. En cuanto a las combinaciones con filler en el “target”, como se ve, fluctúan. En los C 20-80 y C 40-60, se observa que el mayor aumento de resistencia lo tienen a los 56 días de curado, viéndose más representado este máximo en el C 40-60. Por último en la C 60-40, se ve como fluctúa mucho el desarrollo de resistencia durante el proceso de curado, llegando a tener una pérdida de resistencia a 56 días.



**FIGURA 5.3.2:** Ratio de incremento de resistencia respecto al periodo de curado anterior de las combinaciones de cemento C. Fuente: Elaboración propia.

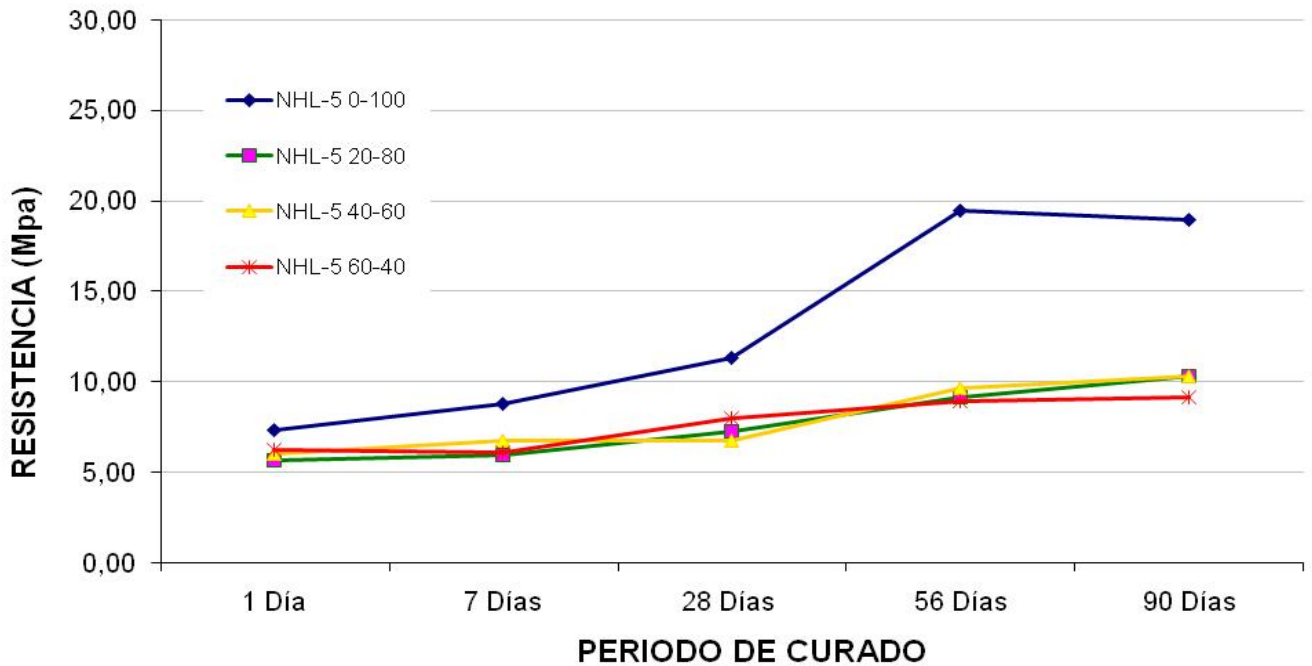
El desarrollo de resistencia a compresión simple de las combinaciones con cal hidráulica NHL-5 0-100, NHL-5 20-80, NHL-5 40-60 y NHL-5 60-40 queda reflejado en la **TABLA 5.3.2** y la **FIGURA 5.3.3**. En ellas vemos de nuevo que la combinación que más resistencia desarrolla es la que no tiene filler entre sus componentes, la NHL-5 0-100. Esta combinación, al igual que pasaba con el cemento, dobla el valor de resistencia a 90 días en comparación con el resto de combinaciones, situándose entorno a los 19 Mpa de resistencia, frente a los 10 Mpa (aproximado) del

resto de combinaciones. Cabe destacar en la NHL-5 0-100, el fuerte aumento de resistencia que se da a 56 días de curado así como el leve descenso de este valor a los 90 días. Este pico en la resistencia es debido a la desecación que sufrieron estos ladrillos ensayados a 56 días, claramente fuera de lo normal y seguramente por problemas con las envolturas que se encargaban del correcto curado de estos (**FIGURA 5.2.2**). El valor de resistencia debería de haberse situado entre los valores del periodo anterior y del siguiente, si no se hubieran secado en exceso.

Por otra parte y a diferencia del cemento, los ladrillos ensayados que contenían filler, NHL-5 20-80, NHL-5 40-60 y NHL-5 60-40 han tenido durante todo el proceso de curado unos valores de resistencia parecidos y sin diferencias muy significativas entre ellos. Siendo estos valores a 90 días más altos en caso del NHL-5 40-60 y el NHL-5 60-40 pero más bajos para el NHL-5 20-80, en comparación con las combinaciones de cemento.

<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (Mpa)</b>						
<b>COMBINACIÓN</b>	<b>ADITIVO Y % FILLER</b>	<b>EDADES DE CURADO</b>				
		<b>1 DÍA</b>	<b>7 DÍAS</b>	<b>28 DÍAS</b>	<b>56 DÍAS</b>	<b>90 DÍAS</b>
NHL-5 0-100	Cal Hidráulica y 0 % Filler	7,35	8,8	11,35	19,45	19
NHL-5 20-80	Cal Hidráulica y 20 % Filler	5,7	5,95	7,3	9,15	10,3
NHL-5 40-60	Cal Hidráulica y 40 % Filler	6,05	6,75	6,75	9,7	10,35
NHL-5 60-40	Cal Hidráulica y 60 % Filler	6,25	6,15	8	8,95	9,2

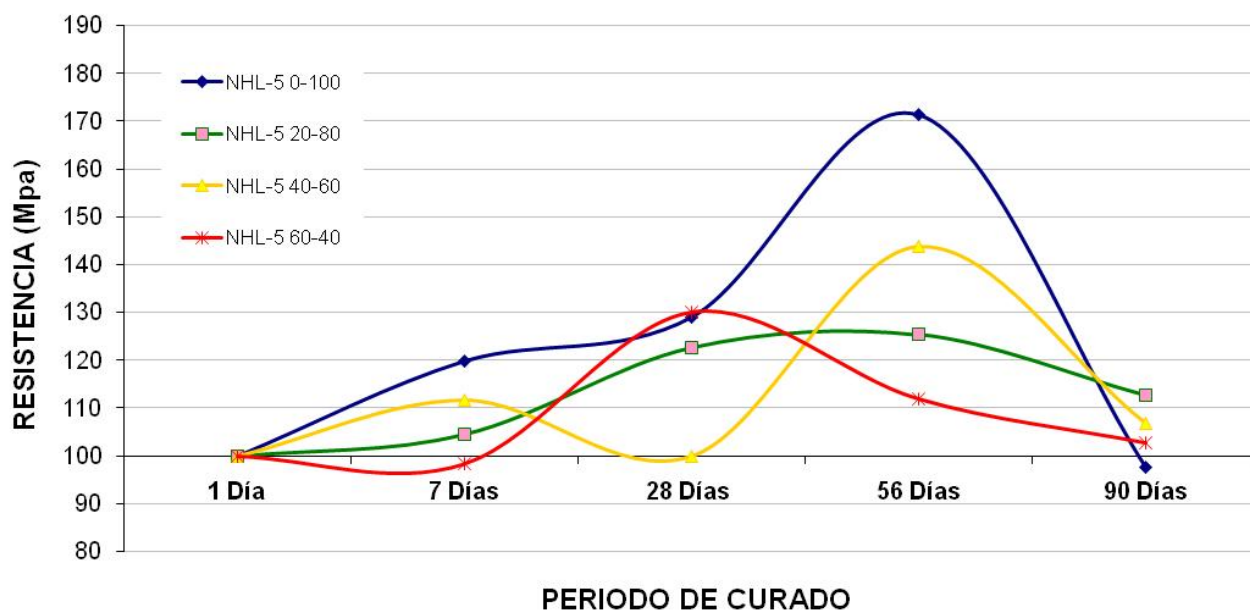
**TABLA 5.3.2:** Valores obtenidos en el ensayo de compresión simple para las combinaciones del cal hidráulica NHL-5.



**FIGURA 5.3.3:** Desarrollo de la resistencia de ladrillos con cal hidráulica NHL-5. Fuente: Elaboración propia.

Los incrementos de resistencia que se dan de un periodo de curado al siguiente con este aditivo quedan representados gráficamente en la **FIGURA 5.3.4**. A diferencia del cemento las combinaciones de cal hidráulica, a excepción de la NHL-5 60-40, dan el mayor aumento de resistencia a los 56 días de curado. De nuevo la combinación sin filler (NHL-5 0-100) es la que mayor aumento de resistencia tiene, con un aumento del 171,4 % respecto al período anterior. Este incremento es un poco excesivo como se ha comentado ahora, por haber tenido una pérdida de humedad excesiva los ladrillos a ensayar a 56 días de curado (**FIGURA 5.2.2**).

Con este aditivo, al igual que con el cemento, los valores de las combinaciones con filler vuelven a fluctuar, teniendo la NHL-5 60-40 una pérdida de resistencia a 7 días.



**FIGURA 5.3.4:** Desarrollo de la resistencia de ladrillos con cal hidráulica NHL-5. Fuente: Elaboración propia.

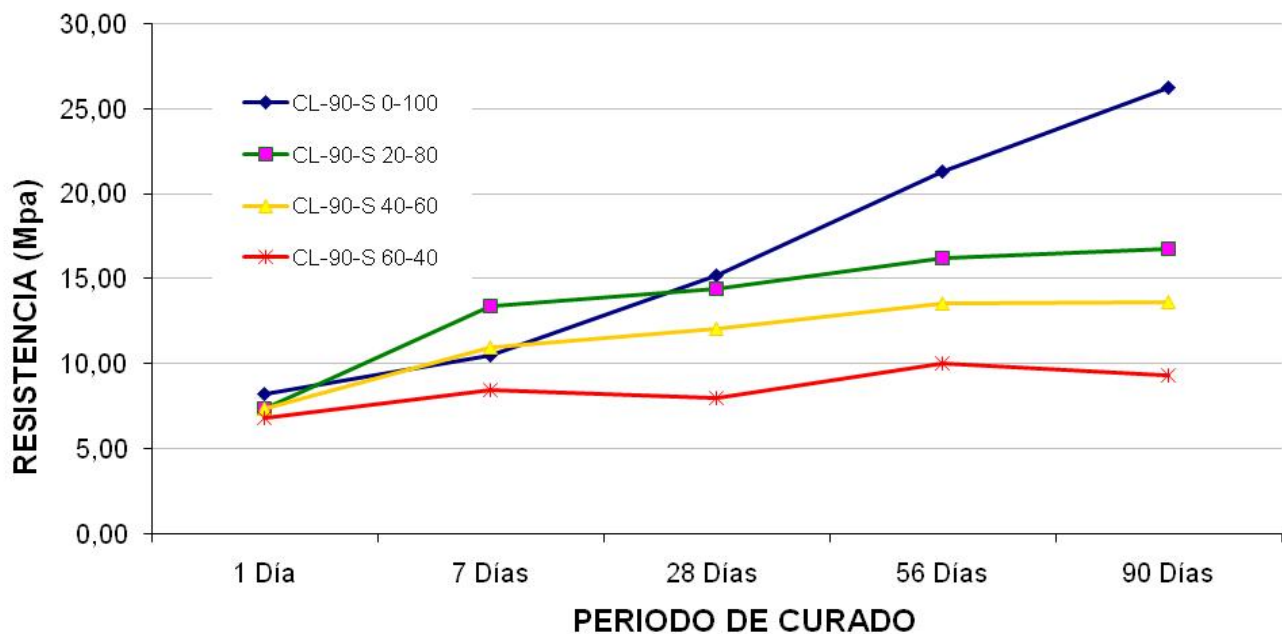
De nuevo se repite el mismo resultado en las combinaciones de cal aérea como se puede apreciar en los resultados conseguidos, **TABLA 5.3.3** y **FIGURA 5.3.5**. La combinación CL-90-S 0-100, la que no tiene nada de filler, es la que más resistencia ha desarrollado a 90 días de curado, con 26,26 Mpa de resistencia. Con este aditivo, la combinación sin filler dobla en resistencia desarrollada a la CL-90-S 60-40.

En la **TABLA 5.3.3** se puede apreciar como con este aditivo los valores de resistencia a compresión simple a 90 días son bastante más altos con cantidades de filler como componentes de las mezclas. La CL-90-S 20-80 llega a resistir una presión de 16,79 Mpa, mientras que con los otros dos aditivos se quedaban alrededor de 10 Mpa de resistencia. La CL-90-S 40-60 también desarrolla una resistencia a tener en cuenta, 13,65 Mpa, al quedarse bastante por debajo este valor con los otros aditivos. Un matiz a destacar es como a 7 días de curado las combinaciones con un 20 % y un 40 % de filler entre sus componentes, desarrollan más resistencia que la CL-90-S 0-100. Aun y todo, como se puede apreciar en la **FIGURA 5.3.5**, existen unos saltos considerables en la

resistencia desarrollada a 90 días cuando se aumenta el contenido de filler, a razón de alrededor de 3 Mpa menos de resistencia por aumento de 20 % de filler.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (Mpa)						
COMBINACIÓN	ADITIVO Y % FILLER	EDADES DE CURADO				
		1 DÍA	7 DÍAS	28 DÍAS	56 DÍAS	90 DÍAS
CL-90-S 0-100	Cal Aérea y 0 % Filler	8,25	10,5	15,25	21,3	26,25
CL-90-S 20-80	Cal Aérea y 20 % Filler	7,4	13,45	14,4	16,2	16,79
CL-90-S 40-60	Cal Aérea y 40 % Filler	7,4	10,95	12,05	13,6	13,65
CL-90-S 60-40	Cal Aérea y 60 % Filler	6,8	8,5	8	10,05	9,35

**TABLA 5.3.3:** Valores obtenidos en el ensayo de compresión simple para las combinaciones del cal aérea CL-90-S.

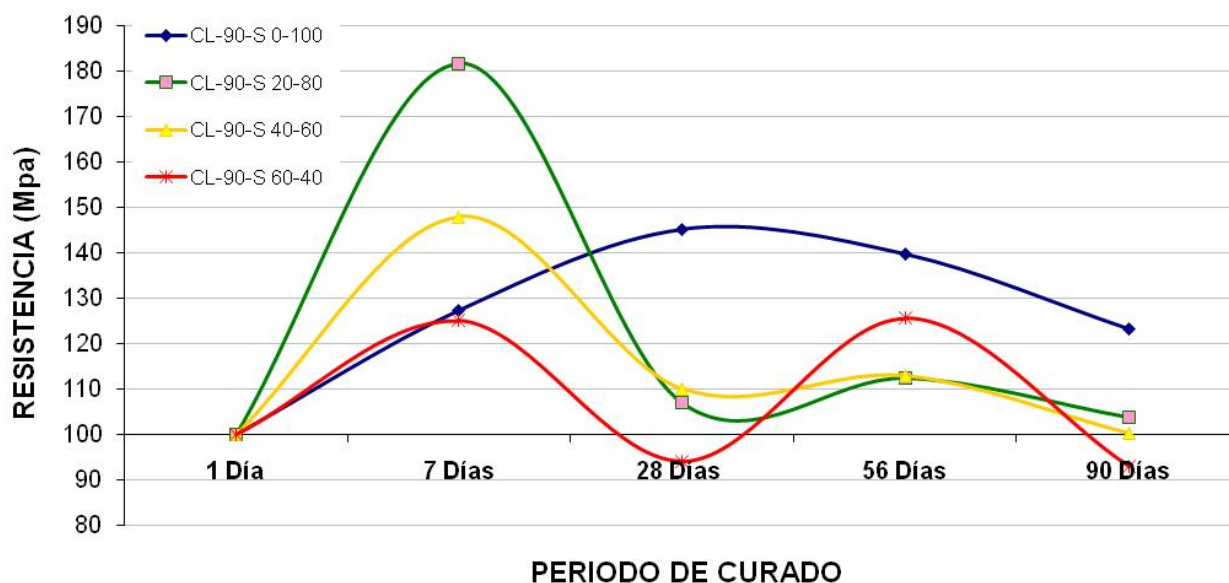


**FIGURA 5.3.5:** Desarrollo de la resistencia de ladrillos con cemento. Fuente: Elaboración propia.



En la **FIGURA 5.3.6** quedan representados los ratios de incremento de las combinaciones con cal aérea. En ella se observa como las combinaciones con filler tienen un salto de aumento de resistencia muy importante a 7 días de curado, siendo las de las CL-90-S 20-80 y 40-60 mayores que la de la combinación sin filler (CL-90-S 0-100). En los siguientes periodos de curado, así como a sucedido con los otros aditivos, se ve como las combinaciones de filler tienden a fluctuar sus incrementos de resistencia. De nuevo con la combinación con un 60 % de filler se producen pérdidas de resistencia, en este caso a 28 y 90 días de curado. Además, en la figura se aprecia como las combinaciones con el residuo industrial a partir del 7º día de curado descienden los ratios de incremento de resistencia, no habiendo apenas incremento a 90 días

En cambio, en la combinación CL-90-S 0-100 el mayor ratio de incremento de resistencia se produce a 56 días de curado de los ladrillos. A diferencia de las combinaciones con filler, en esta se observa que la tendencia es a aumentar de resistencia respecto al periodo anterior a más de 90 días de curado.



**FIGURA 5.3.6:** Desarrollo de la resistencia de ladrillos con cal aérea CL-90-S. Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos y después de haber sido analizados, se demuestra que en general la combinación de “binder” 7 % de cenizas volantes de carbón más 3 % de cal aérea es la que mejor ha funcionado. Con cualquiera de las tres combinaciones de “binder”, las combinaciones que solo tenían marga como componente del “target” han conseguido desarrollar una resistencia muy alta, pero en el caso de las combinaciones con filler la resistencia ha descendido en algunos casos hasta 5 veces. A 90 días la combinación que más resistencia ha desarrollado ha sido la que no tiene filler y tiene cemento como aditivo comercial, C 0-100. La CL-90-S 0-100 se puede decir que ha conseguido desarrollar casi la misma resistencia que la C 0-100, 0,16 Mpa menos, pero desde el momento que se fue introduciendo cantidades de filler las combinaciones de cal aérea han conseguido desarrollar mejor la resistencia que el cemento. Los resultados obtenidos de las combinaciones con la cal hidráulica se sitúan entre las del cemento y las de la cal aérea.

En una mezcla de suelo arcilloso y un componente con un alto contenido en calcio y silicio, en presencia de agua ocurren 2 tipos de reacciones diferentes. La primera de ellas es un rápido intercambio de iones que es conocida como reacciones de mejoramiento del suelo. La segunda, que sucede de una manera más lenta, se basa en reacciones puzolánicas entre los diferentes óxidos aportados por los aditivos y por el suelo arcilloso. A estas últimas reacciones se las conoce como reacciones de estabilización o solidificación y se desarrollan en tanto en cuanto la disponibilidad de los óxidos que forman parte en la formación de geles estén disponibles. Por ello, la combinación de un aditivo muy rico en calcio (cal aérea) y en silicio (cenizas volantes de carbón) se ha comportado la mejor desarrollando resistencia, porque la presencia de estos dos aditivos provoca la formación de geles cementantes por las reacciones

puzolánicas que se producen entre sus óxidos. Con la cal hidráulica el comportamiento es diferente, menor resistencia desarrollada, puesto que el contenido en calcio es menor.

En el caso de un suelo mezclado con cemento y en presencia de agua, las reacciones que suceden son diferentes, las reacciones de hidratación del mismo comienzan rápidamente. Los minerales de  $C_3S$  y  $C_2S$  presentes en el cemento reaccionan con el agua formando geles complejos de C-S-H. Estos geles rellenan los espacios y unen las partículas de arcilla aumentando la rigidez estructural de la matriz arcillosa. Por la razón de que el cemento Pórtland tiene una relación química entre óxidos básico y ácido muy equilibrada, el aporte de un óxido de silicio (ácido) mediante las cenizas volantes de carbón debería de conllevar una mayor formación de geles cementantes. Este comportamiento se ve que sucede en la C 0-100, pero con las combinaciones con filler no se producen estos geles y por ello no desarrollan tanta resistencia a 90 días, ni las reacciones de hidratación rápidas como se dan en la C 0-100 (**FIGURA 5.3.2**).

Cabría hacer mención que en algunas de las combinaciones de este trabajo experimental se han observado unos agregados o cúmulos de color gris-metálico en las partes superficiales de los ladrillos. Han aparecido en todos los ladrillos fabricados en este trabajo aunque se les realizara otros ensayos, de la misma manera y con la misma intensidad en función de la combinación, pero se decidió estudiar y analizar su evolución durante los ensayos de resistencia puesto que era el más idóneo para ello.

Se supo que eran de filler estos agregados, por las características físicas de estos y porque solo aparecieron en las combinaciones que contenían el residuo. Estos agregados han ido apareciendo especialmente en las combinaciones realizadas con el cemento y la cal hidráulica y en menor medida con cal aérea, de mayor tamaño y creando más daños en toda la superficie de los ladrillos (**FIGURA 5.3.12**) en tanto que

las combinaciones tuvieran mayor contenido de filler y también eran mayores los daños a más días de curado (**FIGURA 5.3.11**). Concretamente las combinaciones en las que han aparecido estos agregados han sido: C 20-80, C 40-60, C 60-40, NHL-5 20-80, NHL-5 40-60, NHL-5 60-40 y de una manera mucho más suave en la combinación CL-90-S 60-40 (**FIGURAS 5.3.7, 5.3.8, 5.3.9 y 5.3.10**).



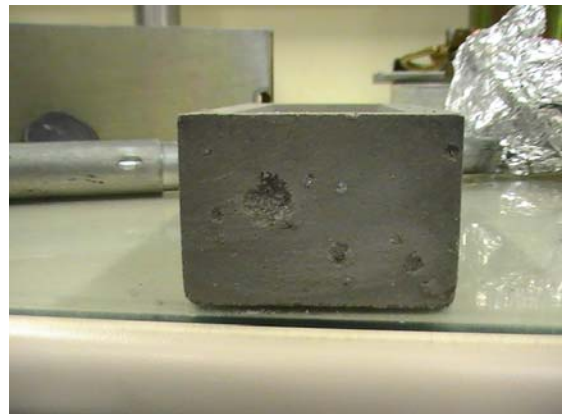
**FIGURA 5.3.7:** Daños de filler, típicos de NHL-5 20-80, C 20-80 y CL-90-S 60-40.



**FIGURA 5.3.8:** Daños de filler, típicos de NHL-5 40-60 y C 40-60.



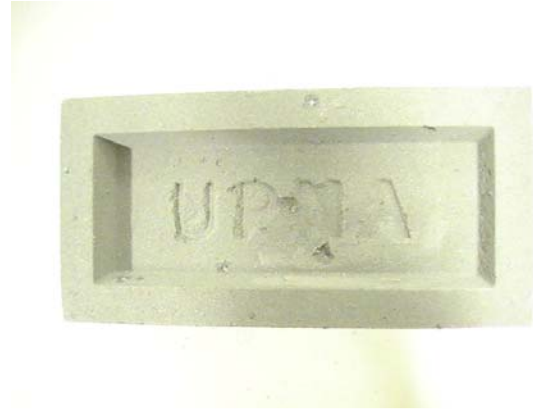
**FIGURA 5.3.9:** Daños de filler, típicos de NHL-5 60-40 y C 60-40.



**FIGURA 5.3.10:** Daños de filler, típicos de NHL-5 60-40 y C 60-40.



**FIGURA 5.3.11:** Desconchado grande en el borde de un ladrillo NHL-5 60-40 a 90 días de curado.



**FIGURA 5.3.12:** Daños generalizados en toda la superficie de una cara.

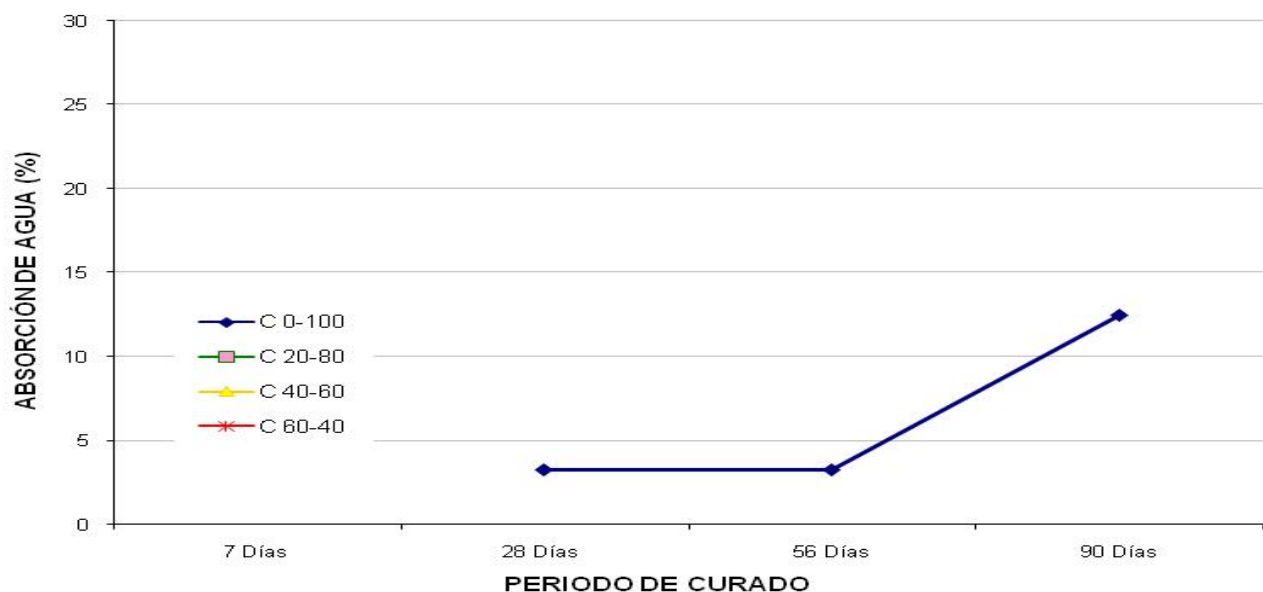
El daño principal que han creado estos agregados han sido orificios independientes en toda la superficie, desconchados pequeños y en el caso de las combinaciones con mayor contenido de filler unos desconchados mayores, todos ellos en las esquinas y aristas de los ladrillos. Todos los daños han sido superficiales puesto que se ha observado el interior de los ladrillos y no han aparecido los agregados de filler. En las combinaciones con cemento y cal hidráulica las que tenían un 20 % de filler únicamente han aparecido pequeños orificios aislados indiferentemente en cualquier cara de los ladrillos, las fabricadas con un 40 % de filler han aparecido muchos más orificios y desconchados leves y por último en las que tenían un 60 % de filler han sido mayoría los desconchados leves y han aparecido unos desconchados más grandes. En cambio, la única combinación afectada de los ladrillos fabricados con cal aérea ha sido la CL-90-S 60-40 y los daños observados han sido los mismos que los de las C 20-80 y NHL-5 20-80.

Por todo lo anteriormente dicho, se estima que la aparición de estos agregados puede ser causa por un lado de que este residuo no viniera de la empresa lo suficientemente triturado y que la biotrituradora del laboratorio no consiguiera triturarla y homogeneizarla lo suficiente. Pero por otro lado, no se descarta que estos agregados

hayan surgido por producirse algún tipo de reacción entre el filler y los aditivos, siendo la cal aérea la que más dificultades ofrece para crear estas. Además se cree que, independientemente de la causa de su creación, estos agregados en general afectan a la resistencia de los ladrillos puesto que a más cantidad de filler (más agregados y mayores daños) más baja es la resistencia que desarrollan. Esta última hipótesis se ratifica al poderse observar en los resultados ahora mostrados que las combinaciones que no tenían daños de filler, CL-90-S 20-80 y CL-90-S 40-60 han desarrollado una resistencia a 90 días considerablemente más alta que la de los otros aditivos.

#### 5.4 Absorción de agua y volumen de huecos de los ladrillos.

En las siguientes figuras se muestran los resultados obtenidos del ensayo de absorción de agua de los ladrillos a 7, 28, 56 y 90 días de curado. Este ensayo ha servido principalmente para obtener los valores de absorción de los ladrillos a las diferentes edades de curado, también se decidió calcular el volumen de los huecos de los mismos a partir de este mismo ensayo. Las fórmulas empleadas para la obtención de estos datos ya se han descrito con anterioridad en la metodología.



**FIGURA 5.4.1:** Capacidad de absorción de agua de los ladrillos con cemento C. Fuente: Elaboración propia.



Las tasas de absorción de agua a diferentes edades de curado de las combinaciones elaboradas con cemento quedan representadas en la **FIGURA 5.4.1**. En ella se puede ver que las combinaciones que tenían como componente el filler no han conseguido resistir ninguno al ensayo de absorción, dándolos como nulos para el desarrollo de este trabajo. Por otro lado la combinación con cemento y que no tenía filler entre sus componentes, C 0-100, no ha resistido el ensayo a 7 días, pero a partir de 28 días de curado ha comenzado a resistirlo. Esta combinación ha mantenido la misma tasa de absorción a 28 días y a 56 días, siendo esta del 3,3 %. En cambio a 90 días de curado la capacidad de absorción de los ladrillos de esta combinación aumenta considerablemente, llegando a ser del 12,47 %, casi una capacidad 4 veces mayor que en los anteriores periodos de curado.

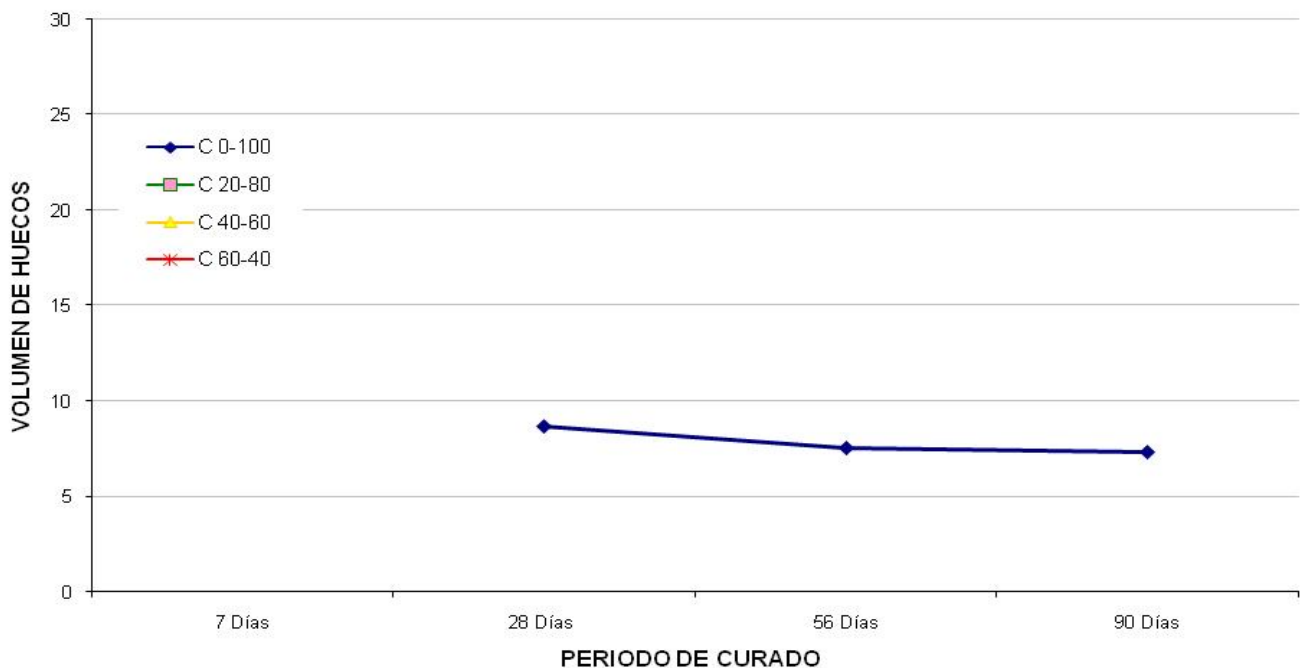


**FIGURAS 5.4.1 y 5.4.2:** Combinaciones C 0-100 y C 20-80 en ensayo de absorción.



**FIGURAS 5.4.3 y 5.4.4:** Combinaciones C 40-60 y C 60-40 en ensayo de absorción.

En la **FIGURA 5.4.6** se muestra el volumen de los porcentajes de huecos que han tenido los ladrillos durante los diferentes periodos de curado. Puesto que en el desarrollo de este ensayo con las combinaciones de cemento solo ha aguantado la C 0-100, no se han podido calcular los volúmenes de huecos de las demás combinaciones. Como se puede observar con la C 0-100, ha ido descendiendo progresivamente el volumen del interior de los ladrillos conforme han ido pasando los días de curado. A 28 días de curado los huecos ocupaban un volumen del 8,5 % respecto del volumen total del ladrillo y a 90 días este valor descendió hasta el 7,3 %, suponiendo un 15,7 % de descenso de un periodo a otro. Como el resto de combinaciones no han podido resistir el ensayo a absorción, igual que en el caso del cálculo de absorción de agua se les da como nulos para el cálculo de volumen de huecos.



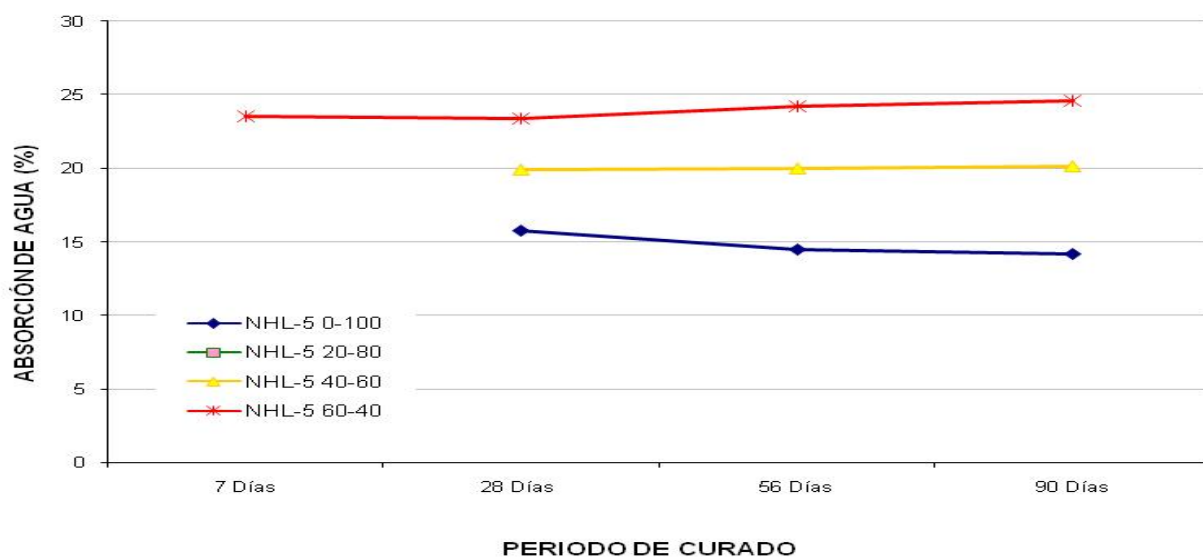
**FIGURA 5.4.6:** Volumen de huecos (%) de los ladrillos con cemento. Fuente: Elaboración propia.



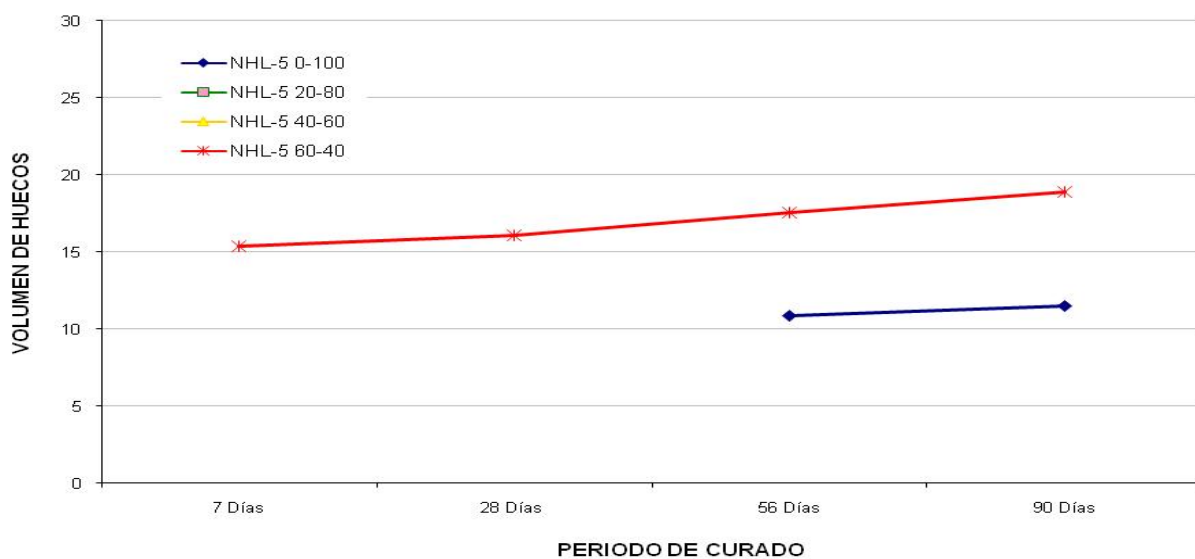
En las **FIGURAS 4.5.7 y 4.5.8** se muestran respectivamente, la capacidad de absorción de agua de las diferentes combinaciones fabricadas con cal hidráulica (NHL-5) y el volumen de huecos de los ladrillos de estas combinaciones durante los diferentes periodos de curado. A diferencia que con el cemento, con algunos matices las combinaciones formadas con cal hidráulica que resistieron el ensayo a absorción han sido la NHL-5 0-100, NHL-5 40-60 y NHL-5 60-40 (**FIGURAS 5.4.9, 5.4.11 y 5.4.12**). Los ladrillos fabricados con un 60 % de filler resistieron este ensayo desde el 7º día de curado, en cambio los fabricados con un 40 % de filler y sin nada de filler comenzaron a resistir a partir de 28 días curando. La NHL-5 40-60 ha resistido el ensayo de absorción y ha servido para calcular la capacidad de absorción puesto que mantenía la estructura principal, pero no ha servido para calcular el volumen de huecos ya que al meterlos a inmersión han perdido partes de los mismos. Con la NHL-5 0-100, se han podido calcular los huecos a partir del 2º mes de curado, por el mismo motivo de la NHL-5 40-60. Por último los ladrillos de la NHL-5 20-80 (**FIGURA 5.4.10**) no han pasado el ensayo en ningún periodo de curado, dándolos como nulos a todos aquellos ladrillos que no han pasado el ensayo y en el caso de las NHL-5 0-100 y 40-60 para el cálculo del volumen de huecos únicamente (**FIGURAS 5.4.13 y 5.4.14**).

Se observa claramente en la **FIGURA 4.5.7**, como la NHL-5 60-40 aumenta su capacidad de absorción de agua a 90 días respecto a 7 días de curado, siendo este aumento del 4,6 % y llegando a la capacidad de un 24,6%. En el caso de la NHL-5 40-60 también aumenta la capacidad de absorción desde 28 días de curado hasta los 90 días, pero no es apreciable puesto que es muy pequeño este aumento. Por último la NHL-5 0-100 es la única combinación de las fabricadas con cal hidráulica que reduce la capacidad de absorción conforme pasan los días de curado. Esta reducción ha sido de un 10,15 %, acabando el proceso de curado con una capacidad de 14,2 %.

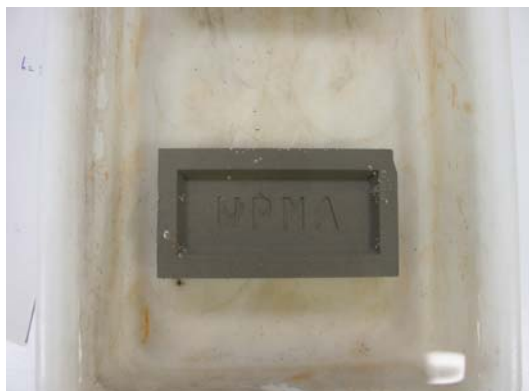
En cuanto al volumen de los huecos, **FIGURA 4.5.8**, tanto la NHL-5 60-40 y la NHL-5 0-100 aumentan el volumen de huecos conforme han ido pasando los días de curado. En el caso de la NHL-5 60-40 el aumento ha sido de un 23,3 % desde el 7º día de y hasta el día 90, y acabando el proceso de curado con un volumen de huecos de 18,92 %. En cambio en la NHL-5 0-100 el aumento desde 56 días y hasta los 90 días de curado ha sido de un 6 %, terminando con un volumen del 11,5 % respecto del volumen total del ladrillo.



**FIGURA 5.4.7:** Capacidad de absorción de agua de los ladrillos con cemento C. Fuente: Elaboración propia.



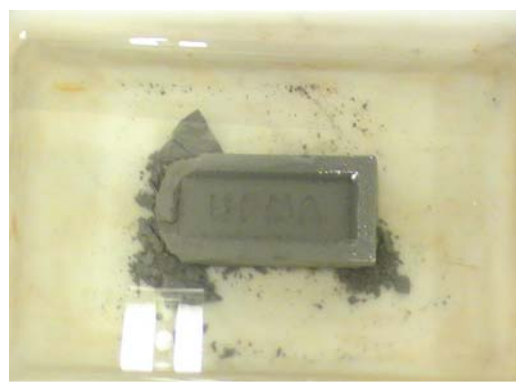
**FIGURA 5.4.8:** Volumen de huecos (%) de los ladrillos con cal hidráulica. Fuente: Elaboración propia.



**FIGURAS 5.4.9 y 5.4.10:** Combinaciones NHL-5 0-100 y 20-80 en ensayo de absorción.



**FIGURAS 5.4.11 y 5.4.12:** Combinaciones NHL-5 40-60 y 60-40 en ensayo de absorción.



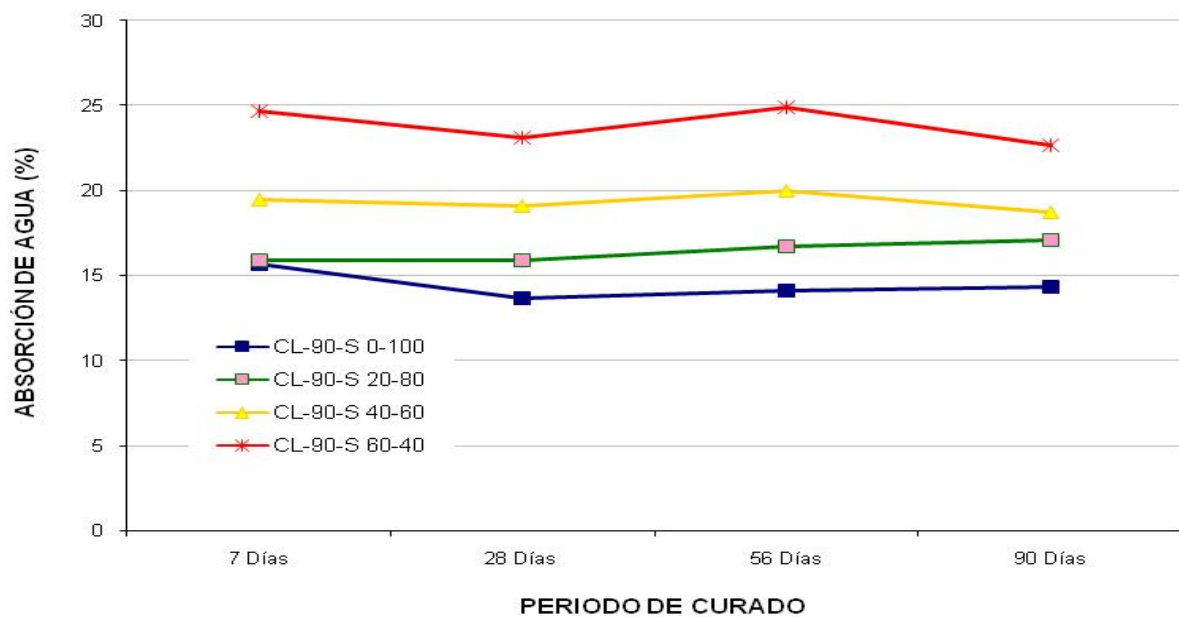
**FIGURAS 5.4.13 y 5.4.14:** Ladrillos ensayados, nulos para el cálculo de volumen de huecos

Por último los resultados al ensayo de absorción de las combinaciones con cal aérea se muestran en las **FIGURAS 4.5.15 y 4.5.16**. A diferencia de las combinaciones ensayadas con los otros dos aditivos, con este aditivo todas las combinaciones han resistido sin ningún problema el ensayo, indiferentemente de su contenido en filler. Por lo tanto, no ha habido ningún problema a la hora de calcular la capacidad de absorción y el volumen de huecos de los ladrillos de todas las combinaciones.

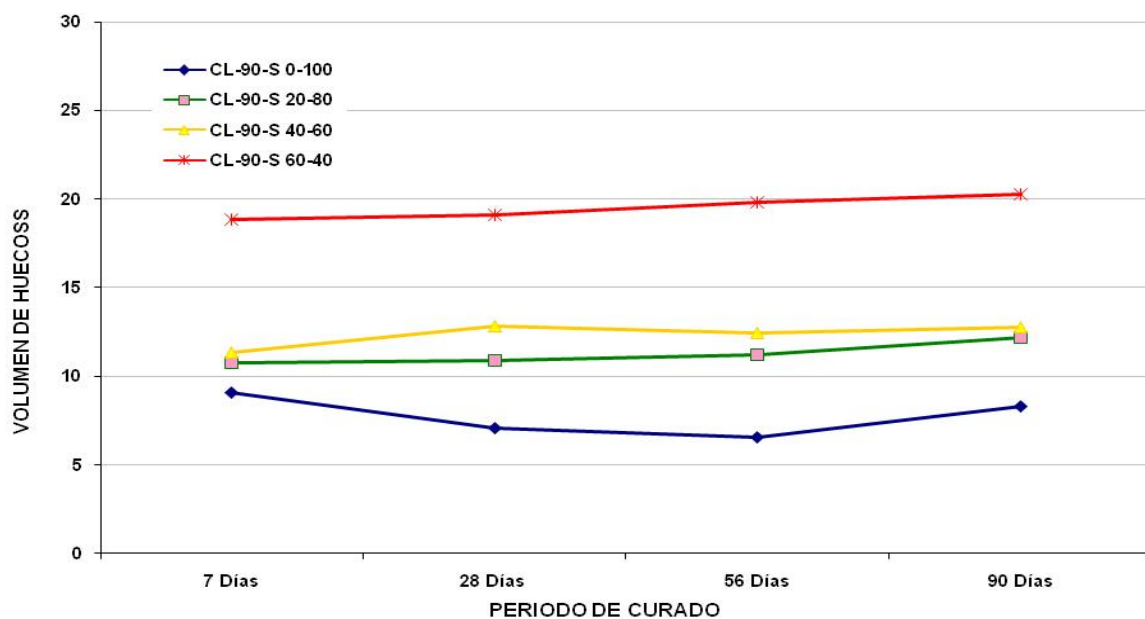
Como se observa en la **FIGURA 4.5.15**, la combinación con un 60 % de filler (CL-90-S 60-40) es la que tiene la mayor capacidad de absorción de agua en las diferentes edades de curado. La tendencia de esta combinación durante los días de curado (7 - 90 días) es la de reducir su capacidad de absorción aunque se den fluctuaciones, siendo esta de un 8,1 %. Por otro lado la combinación CL-90-S 0-100 ha sido la que menos agua ha absorbido durante los diferentes periodos de curado. La capacidad de absorción de esta combinación se reduce fuertemente (13 %) desde el 7º día de curado hasta los 28 días de curado y desde este último periodo hasta el día 90 aumenta de nuevo. Pero en general desde el 7º día de curado hasta el día 90, se reduce un 8,64 % la capacidad de absorción. Los resultados de las otras dos combinaciones con cal aérea, CL-90-S 20-80 y CL-90-S 40-60, se sitúan entre los valores de las combinaciones ahora descritas. La combinación con un 40 % de filler absorbe más agua que la que tiene un 20 %. La CL-90-S 20-80 ha sido la única combinación que ha aumentado la capacidad de absorción durante el periodo de curado, un 7,4 %.

Los volúmenes de los ladrillos de las diferentes combinaciones se muestran en la **FIGURA 4.5.16**. La CL-90-S 60-40 es la que mayor volumen de huecos tiene en todo el periodo de curado, aumentando en un 7,65 % desde el primer ensayo hasta el último. El volumen de los ladrillos ha sido menor durante todo el periodo conforme se

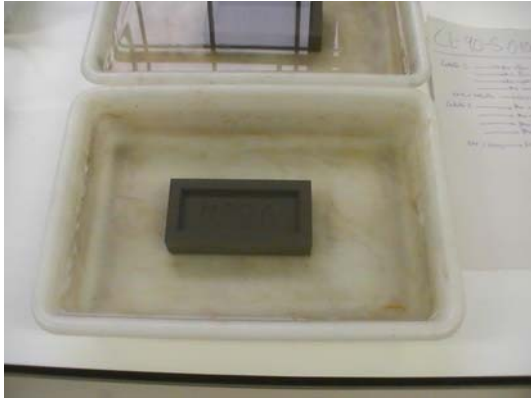
reducía el contenido en filler de las combinaciones. Los ladrillos de CL-90-S 0-100 han sido los que tienen el menor volumen durante el periodo de curado, manteniéndose este valor en el 7º día y el día 90 de curado. Los valores de la CL-90-S 20-80 y 40-60 se han situado entre medio de los otros dos, siendo algo mayor la de un 40 % de filler y teniendo ambas un ligero incremento del volumen de huecos conforme ha ido pasando el periodo de curado.



**FIGURA 5.4.7:** Capacidad de absorción de agua de los ladrillos con cemento C. Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA 5.4.8:** Volumen de huecos (%) de los ladrillos con cal hidráulica. Fuente: Elaboración propia.



**FIGURAS 5.4.17 y 5.4.18:** Combinaciones CL-90-S 0-100 y 20-80 en ensayo de absorción.



**FIGURAS 5.4.17 y 5.4.18:** Combinaciones CL-90-S 40-60 y 60-40 en ensayo de absorción.

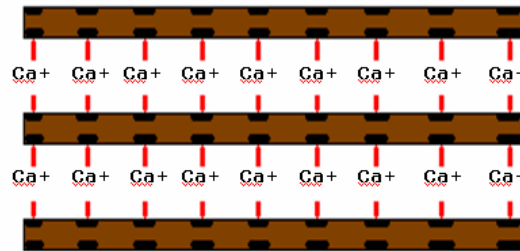
En los resultados anteriormente mostrados se observa que las combinaciones con cal aérea han sido las que mejor resisten el ensayo de absorción. Independientemente de la cal empleada como aditivo (NHL-5 ó CL-90-S), se ha podido ver como a mayor contenido de filler mayor ha sido la capacidad de absorción y eso a su vez ha sido porque estas combinaciones han tenido un mayor volumen de huecos en el interior de los ladrillos. En cambio, de las combinaciones con cemento la única que ha resistido el ensayo ha sido la C 0-100, apreciándose claramente en este caso la repercusión del contenido del filler en los ladrillos.

Las combinaciones formadas con cal aérea han sido las que más han resistido la inmersión por las propiedades químicas que este aditivo aporta. En primer lugar, las grandes proporciones de calcio de este aditivo hacen flocular las dispersadas partículas de arcilla y crean un fuerte y contundente aglomerado de finas partículas, reduciendo la plasticidad y evitando que penetre agua entre las láminas de arcilla (**FIGURA 5.4.19**). A continuación suceden unas reacciones más lentas, en las cuales el calcio combina químicamente con los silicatos y aluminatos presentes en las partículas arcillosas o en el aditivo, agrupándose y formando unas puentes de unión entre las láminas de arcilla y formando complejos de silicatos (CSH) y aluminatos (CAH). En el caso del presente trabajo, el empleo de la marga gris y las cenizas volantes de carbón como composición de las combinaciones tiene una mayor contribución en la formación de estos hidratos complejos, puesto que los dos materiales contienen silicatos y aluminatos.

Las combinaciones formadas con cemento, en su mayoría no han resistido el ensayo a absorción puesto que no se producen las reacciones necesarias entre este aditivo y el suelo arcilloso. El cemento, con sus componentes  $C_3S$  y  $C_2S$  y en presencia de agua, forma los complejos calcio silicato hidratos (CSH). Estos complejos CSH se forman rápidamente, pero al cemento le falta en cantidad el ion bivalente que le aporta la cal y no consigue producir el aglomerado de las partículas de arcilla y no evita que penetre el agua entre las mismas, deshaciendo los ladrillos al meterlos en un ambiente lleno de agua.



**ACCIÓN DE LOS IONES DE CALCIO CON LAS  
PARTÍCULAS ARCILLOSAS**



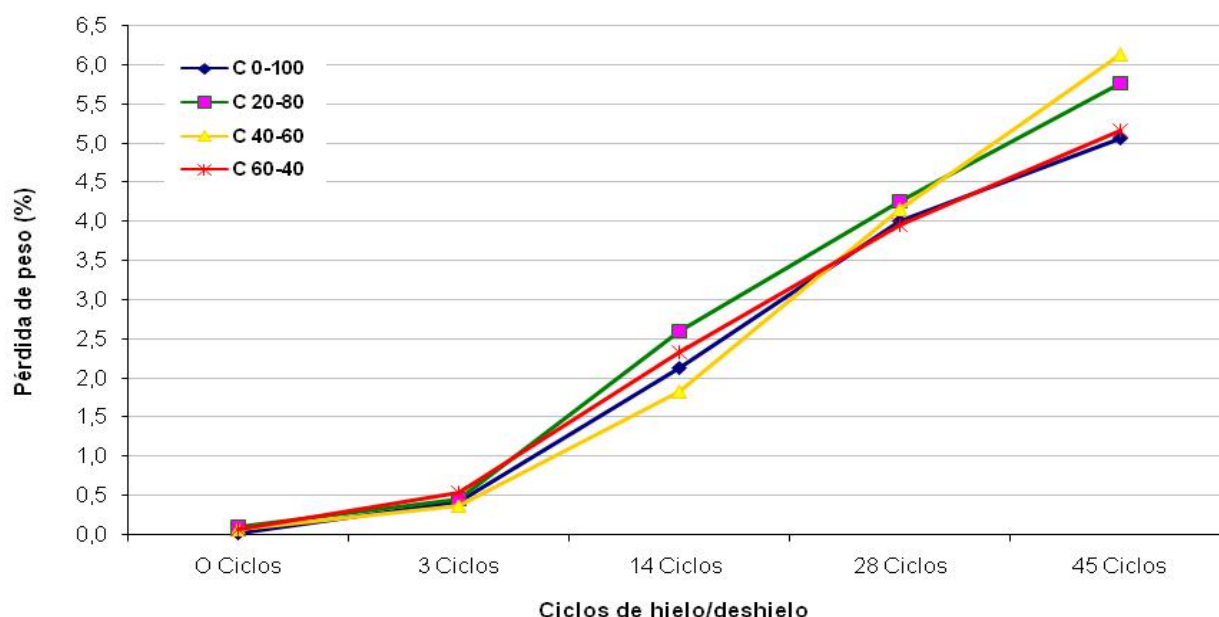
**FIGURA 5.4.19:** Floculación de las partículas de arcilla con iones de calcio. Fuente: Elaboración propia.

### **5.5. Durabilidad de las diferentes combinaciones a ciclos de hielo/deshielo.**

A continuación se muestran los resultados obtenidos con cada combinación tras realizar las pruebas de hielo/deshielo a los ladrillos durante 45 ciclos de 48 horas cada uno.

Las pérdidas de peso sufridas por las diferentes combinaciones con cemento durante los ciclos quedan representadas en la **FIGURA 5.5.1**. En ella se puede ver que ninguna de las combinaciones con cemento sufre una pérdida a 45 ciclos transcurridos mayor del 6,5 % de su peso, en comparación a antes de empezar dichos ciclos. El porcentaje de pérdida de un ciclo determinado a otro es muy parecido en el caso de todas las combinaciones, siendo la que más pierde a los 45 ciclos la C 40-60 (6,13 %). En cambio, la combinación que menos pérdida de peso ha sufrido ha sido la C 0-100, con una pérdida de un 5,05 %, siendo esta pérdida menor en un 1 % respecto a los que pierde la C 40-60. Al culminar los 14 y 28 ciclos se observa que la combinación que más peso ha perdido ha sido la C 20-80, siendo luego superada por la C 40-60.





**FIGURA 5.5.1:** Pérdida de peso durante los ciclos de hielo/deshielo de los ladrillos con cemento, C. Fuente: Elaboración propia.

En las siguientes figuras se muestran el estado de cada uno de los ladrillos de las combinaciones realizadas con cemento. En general, en estas combinaciones se observan daños en los ladrillos a causa de su exposición a temperaturas extremas. Estos daños son en su mayor parte desconchados importantes (alguno en tamaño mayor a 15 mm) en los bordes y esquinas de los ladrillos, desconchados menos fuertes en las superficies inferiores y exfoliaciones generalizadas. Siguiendo la norma UNE 67028 de ensayo de heladicidad, uno de los dos ladrillos de las combinaciones C 0-100 (**FIGURA 5.5.2**) y C 20-80 (**FIGURA 5.5.4**) se han clasificado como ladrillos heladizos por ser sus desconchados mayor de 15 mm de tamaño.



**FIGURAS 5.5.2 y 5.5.3:** Ladrillos C 0-100, tras los 45 ciclos de hielo/deshielo.



**FIGURAS 5.5.4 y 5.5.5:** Ladrillos C 20-80, tras los 45 ciclos de hielo/deshielo.



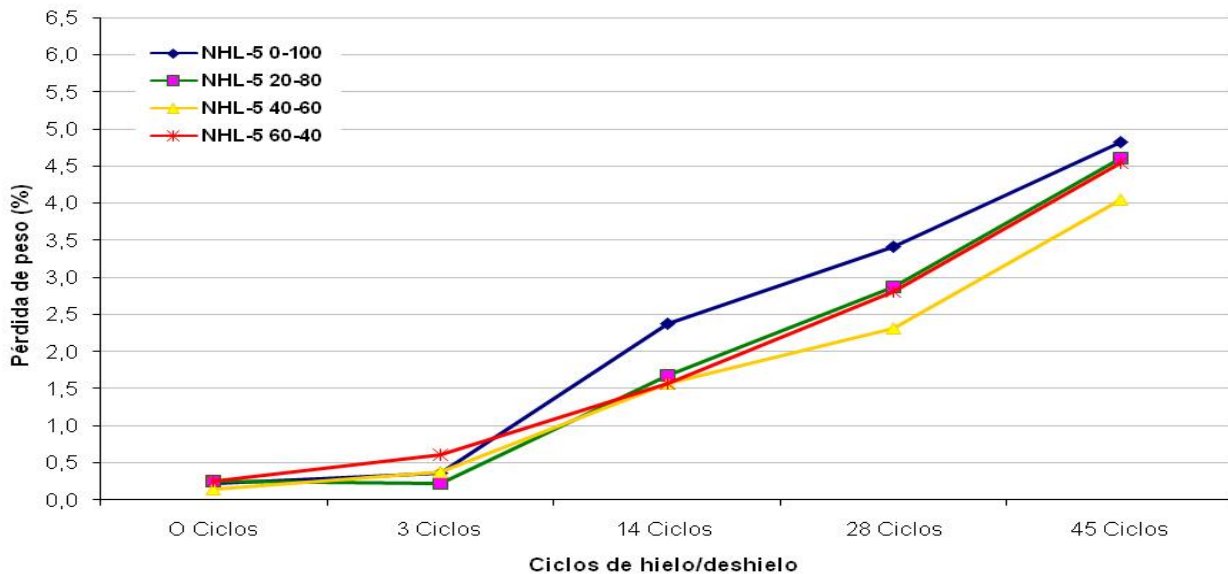
**FIGURAS 5.5.6 y 5.5.7:** Ladrillos C 40-60, tras los 45 ciclos de hielo/deshielo.



**FIGURAS 5.5.8 y 5.5.9:** Ladrillos C 60-40, tras los 45 ciclos de hielo/deshielo.

En la siguiente figura, se muestran las pérdidas de peso sufridas por las diferentes combinaciones de cal hidráulica al transcurrir los 45 ciclos de hielo/deshielo. Como se observa y a diferencia de lo ocurrido con las combinaciones de cemento, con las de cal hidráulica las pérdidas de peso en general no han pasado del 5 %. Además en este caso la combinación sin filler ha sido la que más peso ha perdido, alrededor de un

4,8 % del peso que tenía al inicio de los ciclos. La NHL-5 40-60 ha sido la que menos peso ha perdido, únicamente un 4 % de su peso. Las pérdidas de peso de las otras dos combinaciones ha sido del 4,5 % aproximadamente. A partir de 14 ciclos transcurridos, la NHL-5 0-100 ha sido la que más peso ha perdido, con mayor o menor diferencia respecto al resto de combinaciones.



**FIGURA 5.5.10:** Pérdida de peso durante los ciclos de hielo/deshielo de los ladrillos con cemento, NHL-5. Fuente: Elaboración propia.

En la inspección ocular realizada al final de los 45 ciclos, como exige la norma, se ha apreciado que a diferencia de las combinaciones con cemento en estas los daños son menores. Únicamente en uno de los dos ladrillos de la NHL-5 40-60 (**FIGURA 5.5.15**) se ha observado un desconchado considerable, clasificándolo según la norma como un ladrillo heladizo por su dimensión.



**FIGURAS 5.5.11 y 5.5.12:** Ladrillos NHL-5 0-100, tras los 45 ciclos de hielo/deshielo.



**FIGURAS 5.5.13 y 5.5.14:** Ladrillos NHL-5 20-80, tras los 45 ciclos de hielo/deshielo.



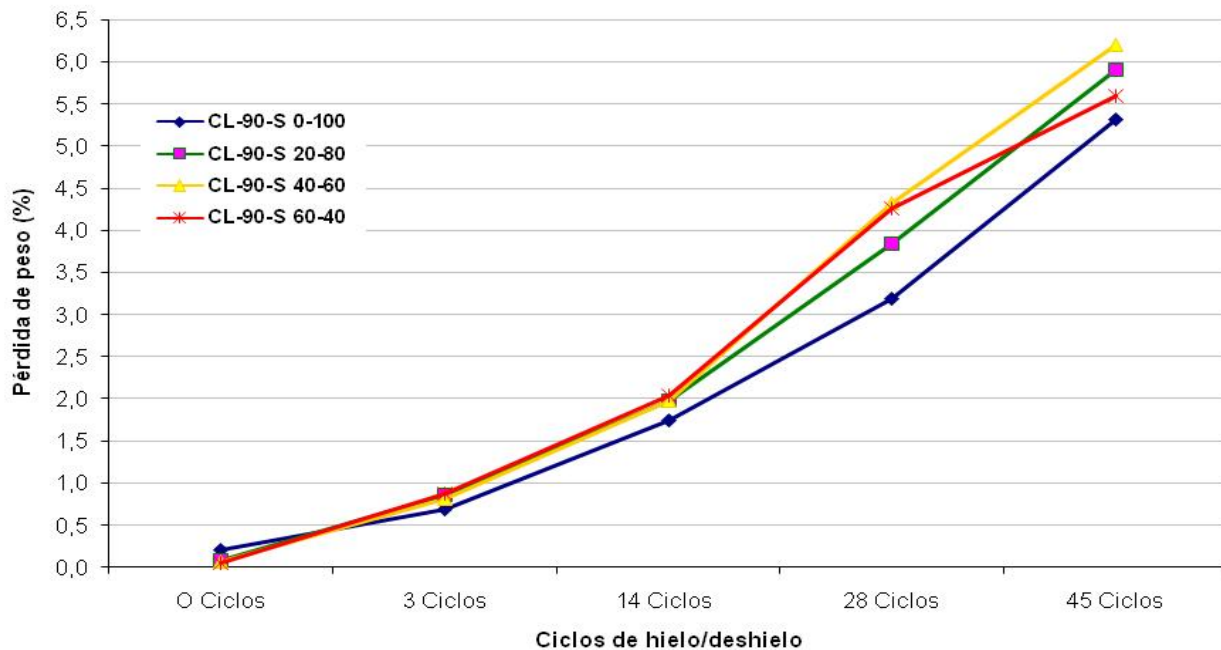
**FIGURAS 5.5.15:** Ladrillos NHL-5 40-60, tras los 45 ciclos de hielo/deshielo.



**FIGURAS 5.5.16 y 5.5.17:** Ladrillos NHL-5 60-40, tras los 45 ciclos de hielo/deshielo.

Las pérdidas de peso sufridas por las combinaciones con cal aérea se muestran en la **FIGURA 5.5.17**. Los resultados obtenidos con este aditivo han sido muy similares a las obtenidas con el cemento. De nuevo la combinación con un 40 % de filler es la que más peso ha perdido, un 6,2 % respecto del peso al inicio de los ciclos. La CL-90-S 0-100 ha sido la que menos peso ha perdido, menos del 5,5 % de su peso al inicio de los ciclos. A diferencia de lo que ha sucedido con las combinaciones de

cemento, la combinación con un 40 % de filler ha sido la que más peso ha perdido desde los 3 ciclos de hielo/deshielo. En este caso la CL-90-S 40-60 y la CL-90-S 60-40 han perdido pesos parecidos hasta los 28 ciclos transcurridos, pero en los últimos 17 ciclos la pérdida de la CL-90-S 40-60 aumenta algo más.



**FIGURA 5.5.18:** Pérdida de peso durante los ciclos de hielo/deshielo de los ladrillos con cal aérea, CL-90-S. Fuente: Elaboración propia.

Todas las combinaciones fabricadas con cal aérea han demostrado no ser heladizas, por no haberse apreciado tras la inspección ocular de cada ladrillo al final de los 45 ciclos ninguna rotura, ni eflorescencia, ni desconchados y tampoco exfoliaciones superiores a 15mm. El desconchado en el interior de los bordes de los CL-90-S 40-60 no ha sucedido a causa de la exposición a los hielos y deshielos, sino que fueron consecuencia de un problema de que se pegaba material en el macho de la máquina multi-ensayo del laboratorio a la hora de fabricarlos.



**FIGURAS 5.5.19 y 5.5.20:** Ladrillos CL-90-S 0-100, tras los 45 ciclos de hielo/deshielo.



**FIGURAS 5.5.21 y 5.5.22:** Ladrillos CL-90-S 20-80, tras los 45 ciclos de hielo/deshielo.



**FIGURAS 5.5.23 y 5.5.24:** Ladrillos CL-90-S 40-60, tras los 45 ciclos de hielo/deshielo.



**FIGURAS 5.5.25 y 5.5.26:** Ladrillos CL-90-S 60-40, tras los 45 ciclos de hielo/deshielo.



A la vista de los resultados ahora mostrados, las combinaciones con cal hidráulica han sido las que menos peso han perdido mientras que las pérdidas de peso que han sufrido las combinaciones formadas tanto con cemento como con cal aérea han sido muy similares, siendo en ambos casos la combinación con un 40 % de filler la que más peso ha perdido. En general, la pérdida de peso que han sufrido estos ladrillos ha sido considerablemente más alta que la pérdida sufrida por los ladrillos curados en condiciones de laboratorio.

Estas pérdidas en todo momento han sido por pérdida de humedad y no por ninguna otra causa, ya que los ladrillos estaban completamente recubiertos de film de plástico. El haberlas envuelto en este film de plástico en vez de otro mecanismo, puede haber sido la causa de que los valores de la pérdida de peso hayan sido un poco altos.

Por último, no se apreció disminución apreciable alguna de la resistencia a compresión simple de los ladrillos de todas las combinaciones una vez pasados los 45 ciclos de hielo/deshielo, en comparación con los valores del ensayo a compresión simple a 90 días de los ladrillos curados en condiciones normales.





## **6. CONCLUSIONES**

Mediante este trabajo experimental se ha podido comprobar que el filler de aluminio no es válido en todos los casos para la construcción de ladrillos puzolánicos sin cocción. Con ninguno de los tres aditivos comerciales empleados en este trabajo se ha conseguido ni superar ni incluso igualar los valores de resistencia y durabilidad que tienen los ladrillos sin filler, confirmando que el aporte de este residuo influye negativamente en la estructura interna de los ladrillos. Por otra parte el aporte de cenizas volantes de carbón en porcentajes bajos como sustitutivo parcial del aditivo comercial, se ha podido comprobar que actúan positivamente en el caso de aditivos ricos en calcio como son la cal aérea y la cal hidráulica.

A continuación se muestran las conclusiones secundarias obtenidas del trabajo experimental:

1. Las combinaciones con mayores porcentajes de filler han resultado ser los ladrillos con menos densidad y mayor contenido en humedad una vez fabricados, al sustituir la marga por un material menos denso como es el filler. Además también ha influido en estos dos parámetros el aditivo comercial empleado, aunque haya sido en menor medida, siendo las combinaciones realizadas con cal aérea las menos densas y más húmedas. Estos valores más bajos en cuanto a la densidad se refiere son una ventaja muy importante a la hora de ahorrar en material y transportar los ladrillos hasta su destino final.
2. En cuanto a los valores de resistencia, todas las combinaciones con filler de aluminio como componente del “target”, indiferentemente del aditivo comercial empleado, han obtenido valores considerablemente más bajos que las combinaciones 0-100, sin filler. En función del aditivo empleado los valores han

sido diferentes, obteniéndose los mejores resultados en el caso de la cal aérea.

También habría que matizar que la combinación 20-80 con cemento y con cal aérea y la 40-60 con cal aérea han obtenido unos valores de resistencia muy aceptables.

3. La presencia de los orificios, desconchados y roturas de esquinas a causa de los agregados de filler que se han formado en los ladrillos, ha afectado negativamente en el desarrollo de resistencia a compresión de los mismos. Siendo especialmente importante el daño de estos agregados en el caso del cemento.
4. Las combinaciones realizadas con cal aérea han sido las únicas que han superado el ensayo de absorción desde el 7º día de curado e indiferentemente de la cantidad de filler que tuvieran. En cambio, de las combinaciones formadas con cemento la presencia de filler en estas ha supuesto que no superen este ensayo, observándose claramente la influencia negativa del residuo sobre la estructura interna del ladrillo y su capacidad de absorber el agua. Esto mismo ha ocurrido con las combinaciones con cal hidráulica, puesto que los ladrillos con filler han superado la prueba pero las esquinas y bordes resultaban dañados, a diferencia de la 20-80 que no ha superado el ensayo en ningún caso.
5. Todas las combinaciones han tenido un comportamiento muy parecido a condiciones extremas de temperatura, resistiendo la estructura de los ladrillos durante los 45 ciclos a los que se les ha sometido.
6. El empleo de residuos procedentes de la industria en la fabricación de materiales para la construcción, como es el filler de aluminio, es muy positivo en cuanto a los beneficios medioambientales se refiere. Pero con este trabajo se ha demostrado que el empleo de este material en grandes cantidades empeora la estructura y propiedades de los ladrillos, al ser un material inerte y no participar en el desarrollo de las reacciones puzolánicas. Únicamente se podrían dar como aptos para la

construcción las combinaciones de cal aérea CL-90-S 20-80 y 40-60, por haber superado todos los ensayos y tener unos valores de resistencia válidos.

7. Las combinaciones realizadas con las cenizas volantes de carbón y la cal aérea como componentes del “binder” han demostrado que desarrollan mayores tasas de resistencia en comparación con las combinaciones de las mismas cenizas y el cemento o la cal hidráulica. Esto ha sido gracias a la formación de geles cementantes entre las grandes cantidades de hidróxidos de calcio de la cal aérea y óxidos de aluminio y de silicio de las cenizas, óxidos necesarios para que se desarrollen estas reacciones cementantes.
8. Desde el punto de vista de utilidad para la construcción, a falta de las pruebas pertinentes, no se cree que los ladrillos de filler puedan sustituir a los ladrillos convencionales como ladrillos caravista empleados en la construcción de edificios, naves, etc. Pero si se cree que puedan ser empleados como tabiquería interna y tabiquería externa de revestimiento de las edificaciones.
9. Por último, de cara al apartado económico y a falta de un estudio adecuado de estos ladrillos, se piensa que si pueden llegar a tener un hueco en el mercado actual de materiales para la construcción y que puedan ser útiles para las empresas dedicadas a la construcción. Todo esto se ratifica aún más desde un contexto Europeo actual e imperante de sostenibilidad de recursos naturales, respeto al medioambiente y de disminución de la contaminación.



## **7. NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

Tras la experiencia obtenida en este trabajo experimental con estos dos residuos se proponen como nuevas líneas de investigación las siguientes:

- Estudio a nivel microscópico del comportamiento del filler de aluminio en la estructura interna de los ladrillos.
- Valorización del filler de aluminio como sustitutivo del árido en hormigones.
- Valorización de cenizas procedentes de la combustión del carbón como aditivo cementante para la estabilización de caminos rurales.
- Estudio de viabilidad económica de los ladrillos ecológicos sin cocción con filler de aluminio.
- Realización de pruebas, ensayos y análisis oficiales de los ladrillos ecológicos sin cocción con filler de aluminio para su puesta en uso en la construcción.



## **8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Mapa Geológico de Navarra. 1997. Departamento de Obras Públicas, Transporte y Comunicaciones.

BDA, 2008. Brick Development Association. {online} accesses on the 28/7/2008 [http:// www.brick.org.uk/industry-sustainability.html](http://www.brick.org.uk/industry-sustainability.html).

Beñat García Gracianteparaluceta, 2010. Valorización física de materiales marginales de excavación. Tesis doctoral, Universidad Pública de Navarra.

Oti, J.E., Kinuthia, J.M., Bai, J., 2009. Engineering properties of unfired clay masonry bricks. *Engineering Geology* 107 (2009) 130-139.

Oti, J.E., Kinuthia, J.M., Bai, J., 2008. Developing unfired stabilised building materials in the UK, *Proceedings of ICE. Journal of Engineering Sustainability* 161 (4), 211–218. doi:10.1680/ensu.2008.161.4.211.

Oti, J.E., Kinuthia, J.M., Bai, J., 2008b. Using slag for unfired-clay masonry bricks. *Proceedings of ICE, Journal of Construction Materials* 161 (4) 147–155. doi:10.1680/coma.2008.161.4.147.

Infraestructuras Balalva S.L. Informe técnico. Cenizas volantes para fabricación de hormigón.

Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino y ministerio de fomento. Gobierno de España. Cenizas volantes de carbon. [www.cedexmateriales.vsf.es](http://www.cedexmateriales.vsf.es)

Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino, Gobierno de España. Centrales térmicas de carbón. [www.larutadelaenergia.org](http://www.larutadelaenergia.org)

Aluminio secundario: Panorama general. [www.cec.org](http://www.cec.org)

Oti, J.E., Kinuthia, J.M., Bai, J., 2008c. Development of innovative low carbon clay bricks. Proceedings of the 2nd International Conference on Learning from Earthen Architecture in Climate Change 2008 (Kerpics'08), Cyprus International University, Lefkosa Northern Cyprus. ISBN: 978-975-6002-07-0, pp. 291–297.

Wild, S., Kinuthia, J. M., Jones, G. I., Higgins, D. D. Effects of partial substitution of lime with ground granulated blast furnace slag (GGBS) on the strength properties of lime-stabilised sulphate-bearing clay soils, Engineering Geology, Volume 51, Issue 1, November 1998, Pages 37-53.

A. Seco, F. Ramírez, L. Miqueleiz, B. García. Stabilization of expansive soils for use in construction, Applied Clay Science, 2011.

A. Seco, F. Ramírez, L. Miqueleiz, B. García, E. Prieto. The use of non-conventional additives in marls stabilization, Applied Clay Science, 2010.

J.E. Oti, J.M Kinuthia, J. Bai. Compressive strength and microstructural analysis of unfired clay masonry bricks, Engineering geology, 109 (2009) 230–240.

Unificación de Normativas Españolas. 2008. Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo, UNE 41410.

Unificación de Normativas Españolas. 2002. Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión, UNE EN 772-1.



Unificación de Normativas Españolas. 2006. Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 2: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería, en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería , UNE EN 772-11:2001/A1.

Unificación de Normativas Españolas. 2001. Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería, en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería , UNE EN 772-11.

Unificación de Normativas Españolas. 1997. Ladrillos cerámicos de arcilla cocida-Ensayo de heladicidad, UNE EN 67028 EX.



**ANEJO 1:**

**FICHAS TÉCNICAS DE LOS**

**ADITIVOS**



# FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PORTLAND (C)

**ORIGEN:** El cemento portland es un conglomerante hidráulico que se obtiene por molturación conjunta de su clínker, de adiciones activas, en su caso, y de la cantidad adecuada de un regulador de fraguado, normalmente piedra de yeso natural. El clínker es el producto que se obtiene al calcinar mezclas de calizas y arcillas preparadas adecuadamente, hasta conseguir la combinación prácticamente total de sus componentes.

**PROCEDENCIA:** No es necesario mencionar la infinidad de utilidades que tiene en la actualidad el cemento en el ámbito de la construcción y la efectividad que ha demostrado. Para la realización de este trabajo el cemento Pórtland empleado se ha obtenido mediante la empresa comercializadora en Pamplona, DICONA.

**COMPOSICIÓN:** El cemento empleado en el desarrollo de este estudio es un polvo de color gris y no tan fino como puede ser la cal aérea. En cuanto a su composición química cabe destacar el alto % en peso sobre el resto de los óxidos presentes del CaO, un 65%.

Óxido	%
CaO	65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3
SiO <sub>2</sub>	25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5
Otros	25

**TOXICOLOGÍA:** El cemento empleado durante el transcurso de este trabajo no tiene ninguna toxicidad.

# FICHA TÉCNICA DE LA CAL HIDRÁULICA

## (NHL-5)

**ORIGEN:** La cal hidráulica se obtiene a partir de calizas que contienen arcillas (sílice y alúmina). Durante la calcinación y la posterior hidratación se forman silicatos y aluminatos cálcicos que son los que confieren las propiedades hidráulicas. Es la cal parcialmente hidratada o apagada en polvo que, además de solidificarse o fraguar en el aire, lo hace debajo del agua.

**PROCEDENCIA:** Esta cal es muy empleada en morteros y pinturas, aunque también se han realizado estabilización de suelos arcillosos mediante este aditivo dando buenos resultados. Al igual que la cal aérea, la cal hidráulica empleada en el desarrollo de este trabajo también se adquirió en la empresa DICONA.

**COMPOSICIÓN:** La cal hidráulica se trata de un polvo de color beige y en su composición química cabe destacar la presencia de  $\text{Ca(OH)}_2$  en un 53% del peso de los óxidos presentes. En la siguiente tabla se especifica la composición química.

Óxido	%
$\text{Ca(OH)}_2$	53
$\text{Al}_2\text{O}_3$	10
$\text{SiO}_2$	12
Otros	25

**TOXICOLOGÍA:** Estas cales no presentan toxicidad alguna para su manipulación.

# FICHA TÉCNICA DE LA CAL AÉREA HIDRATADA (CL-90-S)

**ORIGEN:** La cal aérea hidratada, es un producto que se obtiene por la calcinación de piedras calizas estrictamente seleccionadas y de alta pureza, seguido de un proceso de hidratación a presión. Su aspecto físico destaca por tratarse de un polvo finísimo y de color blanco.

**PROCEDENCIA:** La cal aérea hidratada es un producto comercial de uso común en la construcción, por este motivo se puede obtener por medio de infinidad de empresas que lo comercializan. Para el caso concreto de este trabajo, el CL-90-S proviene de la empresa encargada de su comercialización en Pamplona, llamada DICONA y situada en el polígono de Landaben.

**COMPOSICIÓN:** La característica física principal de este producto es su baja densidad, 500 Kg/m<sup>3</sup> de la cal aérea hidratada frente a los 1100 Kg/m<sup>3</sup> del cemento o los 950 Kg/m<sup>3</sup> de la cal hidráulica por ejemplo. En cuanto a la composición química, habría que destacar la presencia en altos porcentajes de Ca(OH)<sub>2</sub>, siendo este el principal óxido de este aditivo.

Óxido	%
Ca(OH) <sub>2</sub>	82
CaCO <sub>3</sub>	8
CaSO <sub>4</sub>	9

**TOXICOLOGÍA:** La cal aérea hidratada no resulta ni tóxica ni peligrosa para su manipulación.

# FICHA TÉCNICA DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN (CVC)

**ORIGEN:** Las cenizas volantes de carbón son el producto del carbón finamente dividido que se recogen en los precipitadores de las centrales termoeléctricas. Su formación está determinada por el proceso térmico de la central, temperatura, tipo de carbón, composición, granulometría... No se trata de un producto homogéneo, ya que el conjunto de partículas que la constituyen difieren de su composición química, tamaño, granulometría, textura superficial...

**PROCEDENCIA:** Las cenizas volantes de carbón es un subproducto de la industria termoeléctrica y como consecuencia de la actividad de centrales térmicas. Las cenizas empleadas provienen de un vertedero de más de 7 millones de toneladas que la empresa Balalva S.L. tiene acopiadas en el Valle de las Cenizas de Escucha (Teruel), ocupando una superficie de más de 300.000 m<sup>2</sup> de extensión.

**COMPOSICIÓN:** El principal elemento de la composición de las cenizas volantes de carbón es el SiO<sub>2</sub>, pero también cabría remarcar la abundante presencia de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. En la siguiente tabla aparecen descritos los porcentajes de cada óxido de las cenizas volantes de carbón. Análisis realizado mediante Fluorescencia de Rayos X con un equipo PHILIPS PW-1404.

Óxido	%
SiO <sub>2</sub>	52,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,24
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,25
MgO	1,18
CaO	1,68
K <sub>2</sub> O	2,6

**TOXICOLOGÍA:** Las cenizas volantes de carbón ni son tóxicas ni peligrosas para su manipulación.



**ANEJO 2:**

**CÁLCULO DEL VOLUMEN DE**

**LOS LADRILLOS**



En las siguientes líneas se intentará explicar cómo se obtuvo el volumen de los ladrillos fabricados en el trabajo, necesario para la determinación de la densidad de las mezclas y el volumen de los huecos. Para poder explicar de una manera más eficaz y más visualmente, se ha creado la **FIGURA. Anejo 2** de la siguiente página. Las medidas que se representan en las acotaciones están en cm.

Primero se calculó el volumen mayor del ladrillo, sin tener en cuenta el hueco que le producía el molde con las iniciales de la universidad empleado en el laboratorio para el desarrollo del trabajo. También, cabe decir que la altura de los ladrillos ha variado en función de los materiales de las mezclas, no quedando representada la altura en la **FIGURA. Anejo 2**. En los cálculos que a continuación se muestran se ha elegido una altura de 4 cm, como podría tener por ejemplo un ladrillo de 40-60 CL-90-S.

$$\text{Volumen}_{\text{mayor}} = 12,5 \cdot 6 \cdot 4 = 300 \text{ cm}^2$$

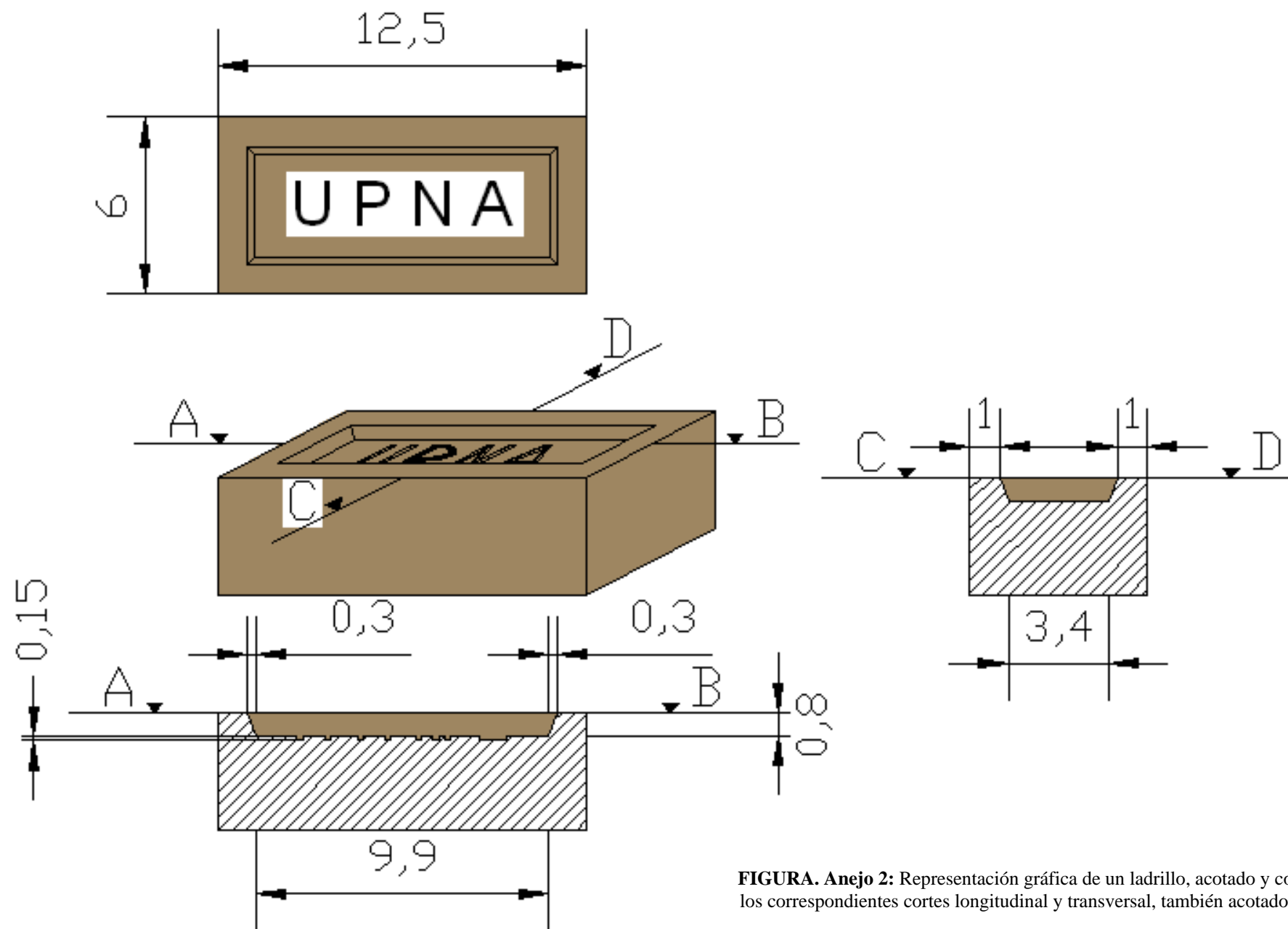
A continuación se calculó el volumen del hueco que le produjo el molde, para ello se emplearon los datos que quedan representados en los cortes longitudinal y transversal de la figura ya mencionada. Para llevar a cabo este cálculo se repartió el hueco en tres partes, el rectángulo interior sin los bordes, los bordes largos y los bordes cortos.

$$\begin{aligned} \text{Volumen}_{\text{hueco}} &= (9,9 \cdot 3,4 \cdot 0,8) + (2 \cdot (9,9 \cdot (0,8 \cdot 0,3/2))) + (2 \cdot (3,4 \cdot (0,8 \cdot 0,3/2))) \\ &= 30,12 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Por último se obtuvo el volumen de los ladrillos restando al  $\text{Volumen}_{\text{mayor}}$  el  $\text{Volumen}_{\text{hueco}}$ .

$$\text{Volumen}_{\text{mayor}} - \text{Volumen}_{\text{hueco}} = 300 - 30,12 = 269,88 \text{ cm}^2$$

Para calcular los volúmenes de todas las combinaciones, lo único que se tuvo que hacer fue cambiar el dato de la altura del ladrillo.



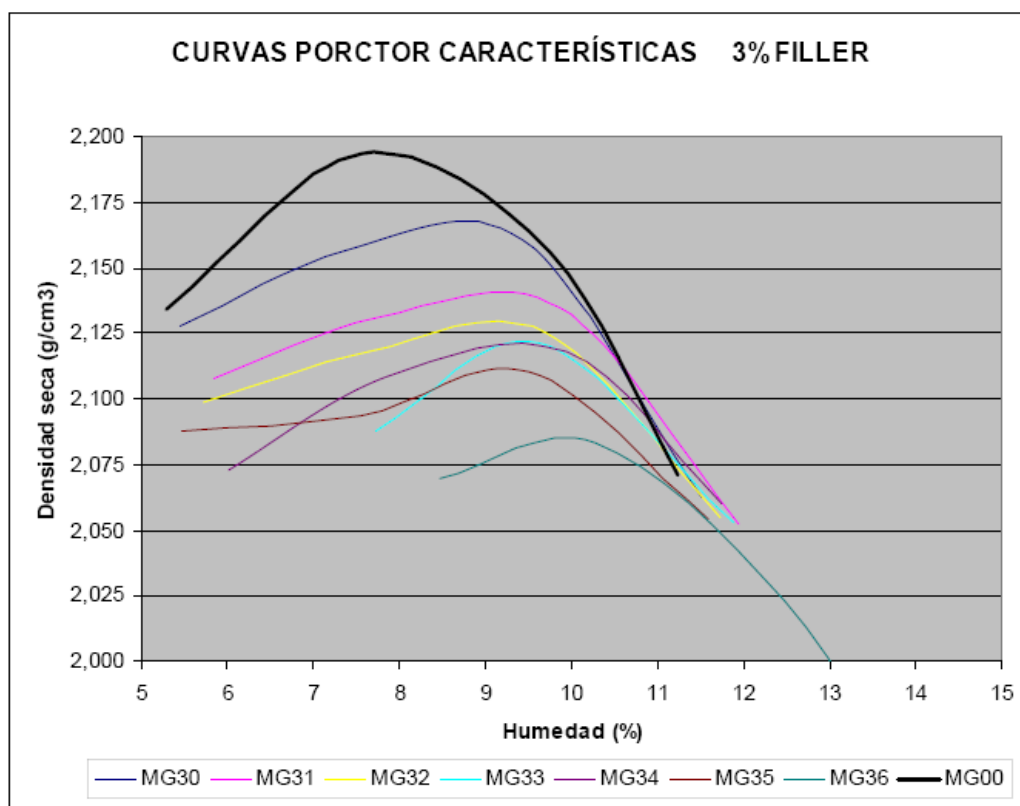
**FIGURA. Anejo 2:** Representación gráfica de un ladrillo, acotado y con los correspondientes cortes longitudinal y transversal, también acotados.

**ANEJO 3**

**CURVAS DE DENSIDAD /**

**HUMEDAD**





PROCTORS MODIFICADOS (3%FILLER)			
COMBINACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	Densidad máxima (g/cm3)	Humedad óptima (%)
MG-30	Marga gris + 3% Filler aluminico	2,167	8,6
MG-31	Marga gris + 3% Filler aluminico + 1% Cal aérea	2,14	9
MG-32	Marga gris + 3% Filler aluminico + 2% Cal aérea	2,130	9,1
MG-33	Marga gris + 3% Filler aluminico + 3% Cal aérea	2,124	10,0
MG-34	Marga gris + 3% Filler aluminico + 4% Cal aérea	2,122	9,3
MG-35	Marga gris + 3% Filler aluminico + 5% Cal aérea	2,11	9,5
MG-36	Marga gris + 3% Filler aluminico + 6% Cal aérea	2,089	9,8





# ANEJO 4

## ANEJO FOTOGRÁFICO



## PLANTA DE RECICLAJE DE ALUMINIO DE BEFESA





## CENTRAL TÉRMICA Y CANTERA DEL VALLE DE LA ESCUSA





## MATERIAL DEL LABORATORIO



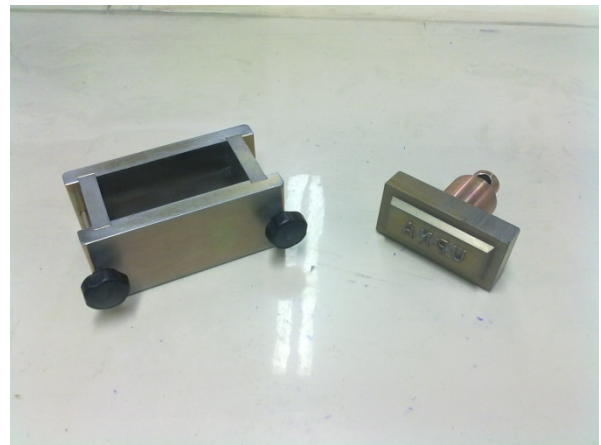
Mezcladora del laboratorio.



Estufas empleadas en el trabajo.



Cámara frigorífica empleada en el ensayo de heladicidad.



Molde empleado en la fabricación de los ladrillos.



Prensa hidráulica del laboratorio.



Mezcladora del laboratorio.

## PRENSA HIDRÁULICA DE LABENSA S.A.



# **ANEJO 5**

## **NORMATIVA**





Diciembre 2008

### TÍTULO

**Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques**

**Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo**

*Compressed earth blocs for walls and partitions. Definitions, specifications and test methods.*

*Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons. Définitions, spécifications et méthodes d'essai.*

### CORRESPONDENCIA

### OBSERVACIONES

### ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 41 *Construcción* cuya Secretaría desempeña AENOR.

Editada e impresa por AENOR  
Depósito legal: M 55496:2008

© AENOR 2008  
Reproducción prohibida

Todos los derechos reservados  
Eskubide guztiak erresalbatu dira

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

**AENOR**

Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Génova, 6  
28004 MADRID-España

info@aenor.es  
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201  
Fax: 913 104 032

26 Páginas

**Grupo 13**



## ÍNDICE

	Página
0 INTRODUCCIÓN.....	4
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN .....	4
2 NORMAS PARA CONSULTA.....	4
3 TÉRMINOS, DEFINICIONES Y SÍMBOLOS.....	5
3.1 Términos y definiciones de los productos.....	5
3.2 Símbolos .....	7
4 MATERIALES Y FABRICACIÓN .....	7
5 ESPECIFICACIONES DE LOS BTC PARA FÁBRICA DE ALBAÑILERÍA .....	7
5.1 Generalidades .....	7
5.2 Dimensiones y tolerancias.....	7
5.3 Configuración .....	8
5.4 Densidad.....	10
5.5 Características de los constituyentes .....	11
5.6 Resistencia a compresión .....	13
5.7 Resistencia a ciclos de humectación/secado .....	14
5.8 Resistencia a la erosión .....	14
5.9 Absorción de agua por capilaridad.....	14
5.10 Resistencia a ciclos de hielo/deshielo .....	14
5.11 Propiedades térmicas .....	14
5.12 Permeabilidad al vapor de agua .....	15
5.13 Reacción al fuego.....	15
5.14 Adherencia .....	15
6 DESCRIPCIÓN, DESIGNACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS BTC.....	15
6.1 Descripción y designación.....	15
6.2 Clasificación.....	15
7 MARCADO Y ENTREGA.....	16
7.1 Marcado .....	16
7.2 Entrega.....	16
8 EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD .....	16
8.1 Aspecto .....	16
8.2 Resistencia a compresión .....	16
8.3 Ensayo de humectación/secado .....	16
8.4 Ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET) .....	17
8.5 Ensayo de absorción de agua por capilaridad .....	18
ANEXO A (Informativo) USO Y DURABILIDAD .....	19
ANEXO B (Informativo) AGUA DE AMASADO DE MORTEROS Y DE FABRICACIÓN DE BTC .....	21
ANEXO C (Informativo) ESTABILIZACIÓN.....	22
ANEXO D (Informativo) EJEMPLOS DE DIFERENTES FORMAS DE BLOQUES .....	24
BIBLIOGRAFÍA.....	26

## 0 INTRODUCCIÓN

Esta norma ha sido elaborada por el Subcomité Técnico AEN/CTN 41 SC10 *Edificación con tierra cruda*, cuya Secretaría desempeña el Departamento de Construcción y Vías Rurales de la ETSI Agrónomos de Madrid.

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma tiene por objeto definir los bloques de tierra comprimida utilizados en fábricas de albañilería por ejemplo, fachadas vistas y revestidas, estructuras de carga y no portantes, muros y particiones interiores.

Fija las prestaciones que deben cumplir los bloques y los ensayos propios para determinarlas, así como el marcado que permite identificarlas.

Se aplica a los bloques de tierra comprimida conforme a la definición 3.1.2, que están destinados a fábricas de albañilería, sean vistas o no. Esta norma no contempla los bloques de tierra comprimida obtenidos por extrusión.

## 2 NORMAS PARA CONSULTA

Los documentos que se citan a continuación son indispensables para la aplicación de esta norma. Únicamente es aplicable la edición de aquellos documentos que aparecen con fecha de publicación. Por el contrario, se aplicará la última edición (incluyendo cualquier modificación que existiera) de aquellos documentos que se encuentran referenciados sin fecha.

UNE 80309:2006 *Cementos naturales. Definiciones, clasificación y especificaciones de los cementos naturales.*

UNE 80402:2008 *Cementos. Condiciones de suministro.*

UNE 103101:1995 *Análisis granulométrico de suelos por tamizado.*

UNE 103102:1995 *Análisis granulométrico de suelos finos por sedimentación. Método del densímetro.*

UNE 103103:1994 *Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.*

UNE 103104:1993 *Determinación del límite plástico de un suelo.*

UNE 103204:1993 *Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico.*

UNE 103205:2006 *Determinación del contenido de sales solubles de un suelo.*

UNE-EN 197-1:2000 y UNE-EN 197-1:2000/A1:2005 *Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.*

UNE-EN 197-2:2000 *Cemento. Parte 2: Evaluación de la conformidad.*

UNE-EN 413-1:2005 *Cementos de albañilería. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad*

UNE-EN 413-2:2006 *Cementos de albañilería. Parte 2: Métodos de ensayo.*

UNE-EN 459-1:2002 *Cales para la construcción. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad.*

UNE-EN 459-2:2002 *Cales para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo.*

UNE-EN 459-3:2002 *Cales para la construcción. Parte 3: Evaluación de la conformidad.*

UNE-EN 13279-1:2006 *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones.*

UNE-EN 13279-2:2006 *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo.*

UNE-EN 772-1:2002 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión.*

UNE-EN 772-2:1999 y UNE-EN 772-2:1999/A1:2005 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 2: Determinación del porcentaje de superficie de huecos en piezas para fábrica de albañilería (por impresión sobre papel).*

UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería, en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería.*

UNE-EN 772-13:2001 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 13: Determinación de la densidad absoluta seca y de la densidad aparente seca de piezas para fábrica de albañilería. (excepto piedra natural).*

UNE-EN 772-16:2001 y UNE-EN 772-16:2001/A1:2006 y UNE-EN 772-16:2001/A2:2006 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 16: Determinación de las dimensiones.*

UNE-EN 772-20:2001 y UNE-EN 772-20:2001/A1:2006 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 20: Determinación de la planeidad de las caras de piezas para fábrica de albañilería.*

UNE-EN 998-2:2004 *Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería*

UNE-EN 1052-3:2003 *Métodos de ensayo para fábricas de albañilería. Parte 3: Determinación de la resistencia inicial a cortante.*

UNE-EN 1745:2002 *Fábrica de albañilería y componentes para fábrica. Métodos para determinar los valores térmicos de proyecto.*

UNE-EN ISO 12572 *Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificios. Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua. (ISO 12572:2001).*

### 3 TÉRMINOS, DEFINICIONES Y SÍMBOLOS

#### 3.1 Términos y definiciones de los productos

Para los fines de este documento, se aplican los términos y definiciones siguientes:

##### 3.1.1 pieza para fábrica de albañilería:

Componente preformado para uso en obras de albañilería.

##### 3.1.2 Bloque de Tierra Comprimida (BTC):

Pieza para fábrica de albañilería generalmente con forma de paralelepípedo rectangular, obtenida por compresión estática o dinámica de tierra húmeda, seguida de un desmolde inmediato, y que puede contener estabilizantes o aditivos para alcanzar o desarrollar las características particulares de los productos (véase 5.5).

##### 3.1.3 BTC ordinario:

Bloque utilizado para construir las partes macizas de las fábricas de albañilería.

##### 3.1.4 BTC accesorio:

Bloque cuya forma o estructura interna son diferentes a las del bloque ordinario y que es utilizado para la ejecución de encuentros particulares de albañilería como armados verticales, dinteles, etc.

**3.1.5 bloque cara vista:**

Bloque cuya cara, realizada para ser vista, se utiliza para construir los muros o los tabiques.

**3.1.6 BTC macizo:**

Bloque que presenta como máximo un 15% de huecos.

**3.1.7 BTC aligerado:**

Bloque cuya densidad aparente seca es menor o igual a 1 200 kg/m<sup>3</sup>.

**3.1.8 BTC para armar:**

Bloque con huecos o rebajes superficiales preparado para ser armado con elementos metálicos u orgánicos. En cada caso, se debe justificar que el hueco permite un recubrimiento adecuado.

**3.1.9 BTC para colocación en seco:**

Bloque con entrantes y salientes suficientes para que la transmisión de esfuerzos se realice en seco, total o parcialmente.

**3.1.10 cara de colocación:**

Cara superior del bloque en posición de obra, que recibe la capa de mortero que constituye la junta horizontal superior.

**3.1.11 cara de apoyo:**

Cara inferior del bloque en posición de obra, que se apoya sobre el mortero de la junta horizontal inferior.

**3.1.12 junta continua:**

Junta de mortero que se extiende de forma continua de un paramento a otro.

**3.1.13 junta discontinua:**

Junta de mortero que presenta uno o varios espacios vacíos, paralelos a los paramentos, dominando sobre toda la longitud del bloque (junta horizontal) o sobre toda su altura (junta vertical).

**3.1.14 dimensión modular:**

Dimensión del espacio de modulación asignado a una pieza para fábrica de BTC en el muro terminado, que se obtiene sumando a las dimensiones de fabricación del bloque el espesor de las juntas y, eventualmente, cuando el bloque lleva revestimiento, el de los acabados. Estas dimensiones de coordinación son determinantes para el ensamblaje de los bloques entre sí o con los elementos próximos.

**3.1.15 dimensión nominal:**

Dimensión de la pieza especificada para su fabricación, a la cual se debe ajustar la dimensión real con las desviaciones permitidas.

**3.1.16 dimensión efectiva:**

Dimensión obtenida por medición directa sobre el bloque.

**3.1.17 sección bruta (S<sub>b</sub>):**

Área obtenida al multiplicar las dos dimensiones efectivas, anchura y longitud, medidas en la misma sección horizontal. Salvo indicación en contra, la sección bruta se refiere a la sección mínima susceptible de ser obtenida en el bloque.

**3.1.18 sección neta (S<sub>n</sub>):**

Área de una sección horizontal de la tierra comprimida, excluidos los vacíos. Salvo indicación contraria, la sección neta se refiere a la sección mínima susceptible de ser obtenida en el bloque.

**3.1.19 sección de apoyo (S<sub>a</sub>):**

Superficie común de las partes de la cara de colocación y de la cara de apoyo superpuestas a las juntas de mortero y susceptibles de transmitir las cargas.

**3.1.20 fisura:**

Grieta de cualquier anchura, longitud y dirección, que afecta a todo el espesor de la pared o del producto.

**3.1.21 microfisura:**

Grieta fina cuya anchura no supera 1 mm y que afecta a no todo el espesor de una pared o del producto.

**3.1.22 valor declarado:**

Valor que el fabricante tiene previsto alcanzar, teniendo en cuenta la precisión de los ensayos y la variabilidad del proceso de fabricación.

**3.1.23 hueco:**

Cavidad o refuerzo sobre una o varias caras de la pieza para fábrica de albañilería (por ejemplo, hueco para el mortero, acanaladura para enlucido, estriado para asegurar la discontinuidad de la junta de mortero).

**3.1.24 alvéolo:**

Hueco que puede atravesar o no una pieza para fábrica de albañilería.

**3.1.25 terminología del aspecto del paramento:**

El aspecto de la(s) cara(s) vista(s), se obtiene directamente en molde (bloques brutos de desmolde) y se define según los siguientes ejemplos (lista no limitativa):

- Bloque de cara(s) plana(s): su(s) cara(s) vista(s) es (son) plana(s).
- Bloque con relieve: bloque en el que al menos una de sus caras vistas presenta un relieve, regular o no, obtenido por el efecto de la compresión.

**3.2 Símbolos**

- $l$  longitud, en mm;  
 $w$  anchura, en mm;  
 $h$  altura, en mm;  
 $f_c$  resistencia normalizada a compresión, en N/mm<sup>2</sup>.

**4 MATERIALES Y FABRICACIÓN**

Las especificaciones de los materiales que se utilizarán en la fabricación de los BTC deben incluirse en la documentación del control de producción. El fabricante tiene que probar que son los adecuados.

**5 ESPECIFICACIONES DE LOS BTC PARA FÁBRICA DE ALBAÑILERÍA****5.1 Generalidades**

Las especificaciones y características requeridas en esta norma deben ser definidas de acuerdo a los métodos de ensayo y demás procedimientos referenciados o que aparecen explícitamente en ella.

Los criterios de conformidad dados en los apartados siguientes se refieren a los ensayos definidos en el capítulo 8 o en las normas de ensayo que se especifican.

Conviene destacar que los métodos de ensayo no son siempre aplicables a los bloques accesorios.

Para la evaluación de la producción, el fabricante debe definir el criterio de conformidad en la documentación del control de producción en fábrica.

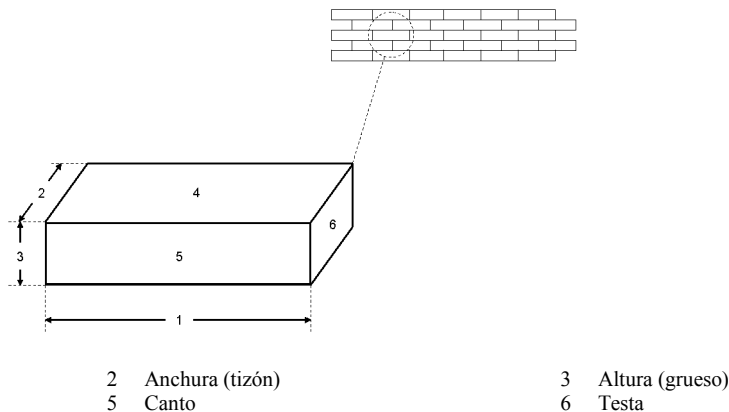
**5.2 Dimensiones y tolerancias**

La determinación de las dimensiones de los BTC se debe hacer de acuerdo con el procedimiento descrito en las Normas UNE-EN 772-16:2001, UNE-EN 772-16:2001/A1:2006 y UNE-EN 772-16:2001/A2:2006.

### 5.2.1 Dimensiones

El fabricante debe declarar las dimensiones nominales del bloque en milímetros, especificando la longitud (soga), la anchura (tizón) y la altura (grueso), por este orden (véase la figura 1).

NOTA Además, se podrán especificar las dimensiones modulares.



NOTA Esta nomenclatura es la empleada habitualmente para designar la situación de las piezas en el muro.

**Figura 1 – Dimensiones y superficies**

### 5.2.2 Tolerancias

La variación por exceso de las dimensiones efectivas del bloque respecto de las dimensiones nominales no debe ser mayor de 5 mm. La variación por defecto de las dimensiones efectivas del bloque respecto de las dimensiones nominales no debe ser mayor de 2 mm.

El fabricante podrá declarar tolerancias menores para una o más dimensiones.

Estas tolerancias no deben aplicarse a las dimensiones comprendidas entre las superficies del bloque que no sean planas. Las tolerancias admisibles en las dimensiones de fabricación de los bloques accesorios deben ser las indicadas en el párrafo anterior o las declaradas por el fabricante.

El procedimiento de medida debe estar de acuerdo con lo especificado en las Normas UNE-EN 772-16:2001, UNE-EN 772-16:2001/A1: 2006 y UNE-EN 772-16:2001/A2:2006.

## 5.3 Configuración

### 5.3.1 Generalidades

La forma y sus características deben ser definidas por el fabricante.

### 5.3.2 Cara de apoyo

La cara de apoyo debe ser, al menos, un tercio de la sección bruta.

### 5.3.3 Juntas

#### 5.3.3.1 Junta vertical o llaga

Las caras laterales de los extremos son generalmente planas. Los bloques destinados a ser colocados con una junta de mortero deben permitir la ejecución de una junta vertical continua de 15 mm acotada entre dos extremos planos para los bloques pudiéndose considerar un espesor de 10 mm cuando la coordinación modular lo permita.



### 5.3.3.2 Junta horizontal o tendel

Las caras horizontales deben permitir la ejecución de juntas horizontales continuas.

### 5.3.4 Bloques accesorios

Los bloques accesorios, cuya utilización es particularmente recomendada para ciertas disposiciones constructivas, tales como armaduras horizontales y verticales así como para dinteles, deben ser de la misma naturaleza que los bloques a los cuales están asociados, con el fin de asegurar la homogeneidad de la albañilería en los distintos puntos. Estos bloques serán objeto de un cuidado particular durante el proceso de fabricación para evitar que sufran daños durante su manipulación.

### 5.3.5 Aspecto

#### 5.3.5.1 Planeidad de superficies

Las caras del bloque deben ser planas. La determinación de la planeidad se hará de acuerdo con las Normas UNE-EN 772-20:2001 y UNE-EN 772-20:2001/A1:2006. Cuando la superficie de un bloque es declarada plana por el fabricante, no se debe desviar de un plano en más del mayor de los siguientes valores:

$$2 \text{ mm o el resultado de la siguiente expresión: } (0,1\sqrt{l_d}) \text{ (mm)}$$

donde

$l_d$  longitud de la diagonal de la superficie del bloque declarada plana, basada en las dimensiones reales del bloque, en mm.

#### 5.3.5.2 Defectos

Las caras vistas de los bloques no deben presentar defectos aparentes como deformaciones. Las aristas en la cara vista deben ser nítidas y rectilíneas. Las caras vistas no deben presentar ninguna mancha o suciedad importante o duradera que cubra más de  $\frac{1}{4}$  de su superficie. Además, conviene determinar si estas manchas o suciedades son o no compatibles con el tipo de obra que se pretende ejecutar.

No se tendrán en cuenta ni los mantos blanquecinos ligeros ni los pequeños ribetes.

### Desconchados

No se toleran los desconchados en las esquinas, excepto cuando pueden inscribirse en un triedro trirectángulo cerrado por un triángulo equilátero de lado  $\leq T$  (mm) (véase la figura 2).

Los desconchados en las aristas y las oquedades sólo son tolerables cuando su longitud sea inferior a  $T_1$  (mm), medida sobre las aristas y la profundidad sea inferior a  $T_2$  (mm), medida a partir de las aristas.

Los valores de  $T$ ,  $T_1$  y  $T_2$  se dan en la tabla 1 y se ilustran en las figuras 2 y 3.

**Tabla 1 – Tolerancias dimensionales de los desconchados en las esquinas y en las aristas**

Bloques	$T$ (mm)	$T_1$ (mm)	$T_2$ (mm)
BTC cara vista	10	20	5
BTC ordinarios	20	30	10

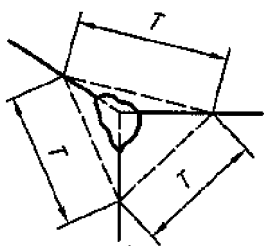


Figura 2 – Desconchado en una esquina

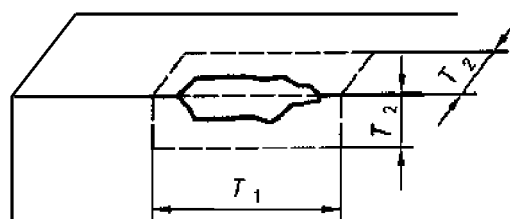


Figura 3 – Desconchado en una arista

### **Microfisuras**

Las microfisuras sólo se tolerarán en bloques cara vista, cuando:

- su anchura no supere 0,5 mm;
- su longitud no supere 20 mm;
- su profundidad no supere 5 mm;
- su número no pase de 2 para una misma cara.

Las microfisuras sólo se tolerarán en los bloques ordinarios, cuando:

- su anchura no supere 1 mm;
- su longitud no supere 40 mm;
- su profundidad no supere 10 mm;
- su número no pase de 3 para una misma cara.

#### **5.3.5.3 Alvéolos**

El porcentaje de alvéolos, si los hay, debe ser declarado. El volumen en porcentaje de los alvéolos del bloque debe determinarse según las Normas UNE-EN 772-2:1999 y UNE-EN 772-2:1999/A1:2005 y por cálculo. Los resultados deben corresponder con los valores declarados.

### **5.4 Densidad**

#### **5.4.1 Densidad aparente seca de los bloques**

El fabricante debe declarar la densidad aparente en seco del BTC. La determinación de la misma se hará de acuerdo con la Norma UNE-EN 772-13:2001.

#### **5.4.2 Densidad absoluta seca de los bloques.**

El fabricante debe declarar la densidad absoluta seca del BTC cuando corresponda según los usos para los cuales se comercializa y para todos los casos en los que los bloques son utilizados en elementos sujetos a exigencias acústicas. La determinación de la misma se hará de acuerdo a la Norma UNE-EN 772-13:2001.

NOTA Se recomienda que el fabricante especifique la masa seca del BTC.

## 5.5 Características de los constituyentes

### 5.5.1 Estabilizantes y aditivos

El fabricante debe declarar el/los aditivos o estabilizante/s usado/s. En el caso de utilizar cemento, cal o yeso, el contenido total de éstos debe ser menor o igual al 15% de la masa en seco del BTC.

Esta norma contempla otros tipos de estabilización. Algunos de ellos se recogen en el anexo C (informativo).

NOTA En el caso de utilizarse varios conglomerantes, se entiende que la suma de los porcentajes de todos ellos debe ser inferior al 15% de la masa en seco del BTC.

El cemento empleado como estabilizante para la fabricación de los BTC debe responder a las condiciones especificadas en las normas siguientes, así como en la reglamentación vigente<sup>1)</sup>:

- Norma UNE 80402:2008.
- Norma UNE-EN 197-1:2000.
- Norma UNE-EN 197-1:2000/A1:2005.
- Norma UNE-EN 197-2:2000
- Norma UNE-EN 197-2:2000/A1:2005.
- Norma UNE 80309:1994.
- Norma UNE-EN 413-1:2005.
- Norma UNE-EN 413-2:2006.

La cal empleada como estabilizante para la fabricación de los BTC debe responder a las condiciones especificadas en las normas siguientes, así como en la reglamentación vigente<sup>2)</sup>:

- Norma UNE-EN 459-1:2002.
- Norma UNE-EN 459-2:2002.
- Norma UNE-EN 459-3:2002.

El yeso empleado como estabilizante para la fabricación de los BTC debe responder a las condiciones especificadas en las normas siguientes:

- Norma UNE-EN 13279-1:2006.
- Norma UNE-EN 13279-2:2006.

### 5.5.2 Tierra

La tierra destinada a la construcción de los BTC está compuesta esencialmente por grava, arena, limo y arcilla, mezclado con agua y, opcionalmente, con estabilizantes y aditivos.

Deben rechazarse las tierras que contengan:

- Materia orgánica en cantidad mayor o igual del 2%. La determinación del contenido en materia orgánica de los suelos que se empleen en la fabricación de los BTC se hará de acuerdo con la Norma UNE 103204:1993.
- Sales solubles en contenido mayor del 2%. El contenido en sales solubles de los suelos que se empleen en la fabricación de los BTC se determinará de acuerdo con la Norma UNE 103205:2006.

1) En el momento de publicación de esta norma, la reglamentación vigente es la Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-08).

2) En el momento de publicación de esta norma, la reglamentación vigente es la Instrucción para la Recepción de Cales (RCA-92).

Las principales características de la tierra se definen por:

- La granulometría.
- La plasticidad.
- El tipo de arcilla.

### 5.5.2.1 Granulometría

La determinación de la distribución de tamaños de partícula de la tierra utilizada para fabricar los BTC se realizará según las Normas UNE 103101:1995 y UNE 103102:1995.

Se recomienda que la granulometría del material utilizado esté inscrita en el huso del diagrama de textura de la figura 4. Los límites del huso recomendado son aproximados. Los materiales cuya textura está inscrita en el huso recomendado dan resultados satisfactorios en la mayoría de los casos.

No se admitirán aquellas tierras con un contenido en arcillas menor al 10%.

### 5.5.2.2 Plasticidad

La determinación de la plasticidad de los suelos que se utilicen para la fabricación de los BTC se realizará según lo establecido en las Normas UNE 103103:1994 y UNE 103104:1993.

Se recomienda que la plasticidad del material esté comprendida preferentemente en la zona sombreada del diagrama de plasticidad de la figura 5. Los límites recomendados son aproximados. Los materiales cuya plasticidad queda inscrita en la zona sombreada recomendada, en la mayoría de los casos, dan resultados satisfactorios.

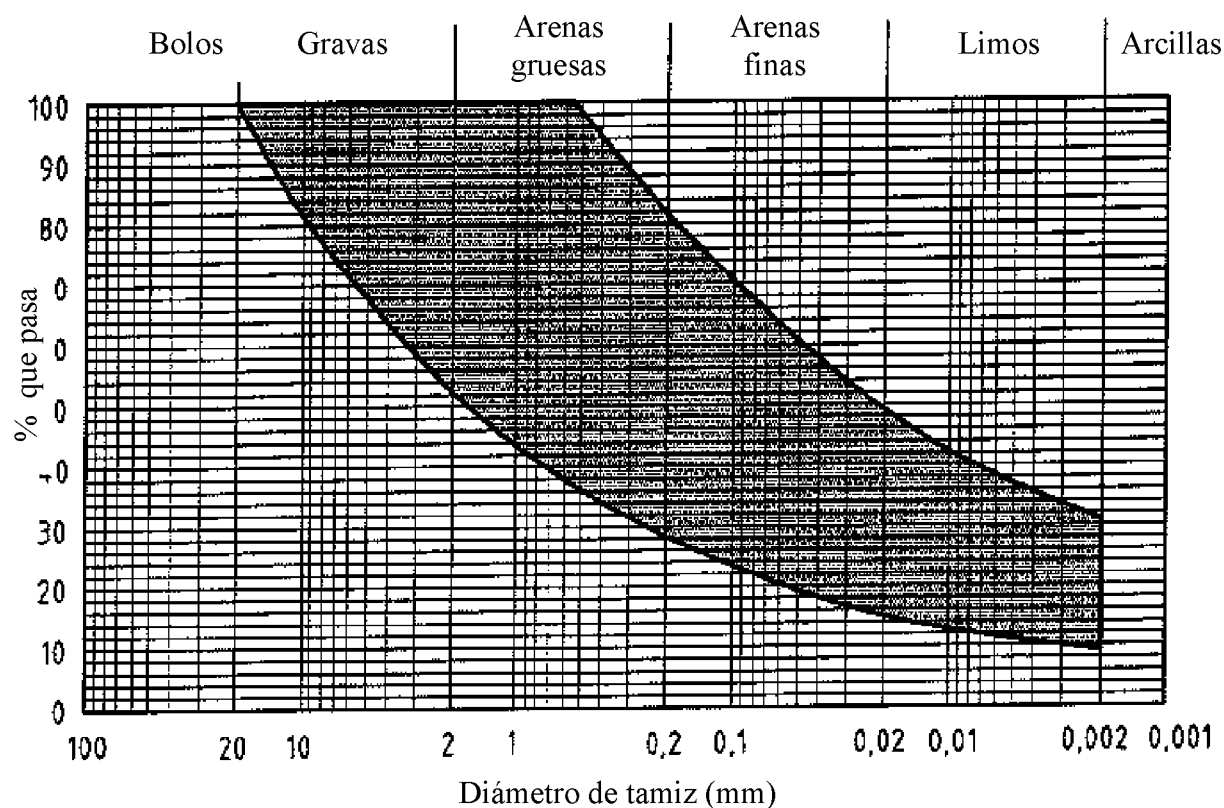
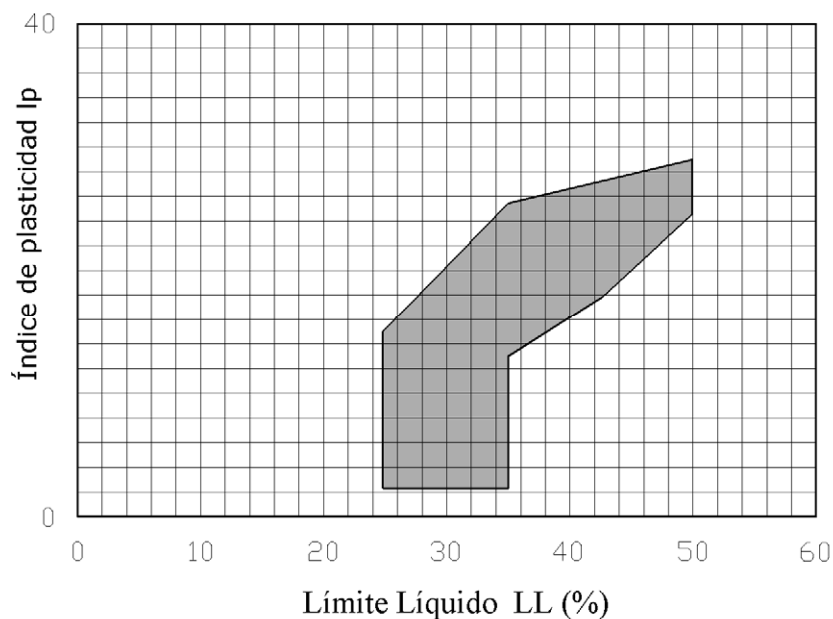


Figura 4 – Huso del diagrama de texturas de las tierras



**Figura 5 – Zona recomendada del diagrama de plasticidad de las tierras**

### 5.5.3 Agua

En general, pueden emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica. En caso de no existir antecedentes de su uso y siempre que existan dudas, se recomienda analizarla según lo especificado en el anexo B (informativo).

### 5.6 Resistencia a compresión

El fabricante debe declarar la resistencia normalizada a compresión del BTC en  $\text{N/mm}^2$ , (véase la definición de valor declarado en el apartado 3.1.18). El valor declarado debe corresponder a la resistencia normalizada a compresión (fractil del 5%),  $f_c$ , en el momento del suministro, y debe ser como mínimo el valor indicado en la tabla 2.

NOTA Esto significa que la interpretación estadística de los resultados de los ensayos debe demostrar que el 95% de la producción correspondiente presenta una resistencia al menos igual al valor correspondiente de la tabla.

Además, ningún resultado debe ser inferior a 0,8 veces el valor de esta resistencia.

**Tabla 2 – Clases de resistencia normalizada a compresión**

Bloques	BTC 1	BTC 3	BTC 5
Resistencia normalizada, $f_c$ , (fractil 5%), en $\text{N/mm}^2$	1,3	3	5

NOTA Respecto a los bloques accesorios, véase el apartado 5.3.4.

Para la determinación de la resistencia normalizada a compresión, se debe seguir el procedimiento descrito en el apartado 8.2 de esta norma.

La declaración del fabricante debe indicar la orientación de los BTC que han sido ensayados, el método de apoyo del bloque, así como el método de acondicionamiento y de preparación de la superficie.

### 5.7 Resistencia a ciclos de humectación/secado

Los BTC utilizados en fábricas sometidas a exposición severa (véase el anexo A) se deben ensayar de acuerdo al apartado 8.3 de esta norma, previamente al ensayo de erosión, debiéndose verificar que, tras seis ciclos de humectación/secado, no se observa ninguna de las condiciones siguientes:

- Modelo de grietas aleatorio.
- Modelo de grietas en estrella.
- Hinchamiento local.
- Picado local en al menos 5 zonas.
- Pérdida general o local de capas de suelo.
- Penetración de agua en más del 70% de la anchura del BTC (visualmente por el exterior).
- Pérdida de fragmentos mayores a 50 mm, excepto los que provengan de la parte comprendida entre los bordes y 50 mm hacia adentro.
- Eflorescencias en la superficie.

### 5.8 Resistencia a la erosión

Los BTC utilizados en fábricas sometidas a exposición severa (véase el anexo A) se deben ensayar conforme al apartado 8.4 de esta norma. El BTC así ensayado se clasificará en “apto” o “no apto”, según el criterio expresado en la tabla 3.

**Tabla 3 – Resistencia a la erosión. Criterios de aceptación o rechazo**

Propiedad	Criterio	Resultados
$D$ , (profundidad de la oquedad, en mm)	$0 \leq D \leq 10$	Bloque apto
	$D > 10$	Bloque no apto

### 5.9 Absorción de agua por capilaridad

El fabricante debe declarar el valor del coeficiente  $C_b$  de absorción de agua por capilaridad de una muestra de piezas si éstas están destinadas a elementos exteriores con la cara vista. Esta información debe referirse a las Normas UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006, según se especifica en el apartado 8.5 de esta norma.

### 5.10 Resistencia a ciclos de hielo/deshielo

En función de los usos para los cuales se comercializa el BTC, el fabricante debe evaluar y declarar la resistencia al hielo/deshielo del bloque, haciendo referencia a la experiencia previa de utilización en la zona de uso hasta que esté disponible una norma europea adecuada.

NOTA Cuando el producto se utilice protegido frente a la penetración de agua (por ejemplo, mediante capa de enlucido, revestimiento, pared interior de una cavidad del muro, muros internos), no es necesario hacer referencia a la resistencia al hielo/deshielo.

### 5.11 Propiedades térmicas

En función de los usos para los cuales se comercializa el BTC, y en todos los casos para bloques que vayan a usarse en construcciones sujetas a exigencias de aislamiento térmico, el fabricante debe facilitar la información sobre las propiedades térmicas del producto. Dichas propiedades térmicas deben determinarse según el apartado 4.2.2 de la Norma UNE-EN 1745:2002.

### 5.12 Permeabilidad al vapor de agua

Para los BTC destinados a paramentos exteriores, el fabricante tiene que facilitar la información relativa a la permeabilidad de las piezas, acorde con la Norma UNE-EN ISO 12572.

### 5.13 Reacción al fuego

Para los BTC diseñados para ser utilizados en elementos con requisitos de resistencia al fuego, el fabricante debe declarar la clasificación de reacción al fuego de los bloques.

### 5.14 Adherencia

Si los bloques están diseñados para ser sometidos a requisitos estructurales, la resistencia de la adherencia a cortante de la pieza en combinación con un tipo específico de mortero conforme a la Norma UNE EN 998-2:2004 debe declararse en términos de la resistencia característica inicial a cortante en base a ensayos conforme a la Norma UNE-EN 1052-3:2003. La resistencia característica inicial a cortante no debe ser inferior al valor declarado.

NOTA La resistencia de adherencia depende del mortero, del bloque y del trabajo del operario.

## 6 DESCRIPCIÓN, DESIGNACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS BTC

### 6.1 Descripción y designación

La designación de los bloques de tierra comprimida comprende, por orden, las indicaciones siguientes:

- “BTC” (para bloques de tierra comprimida),
- categoría de uso: O (comunes) o P (cara vista),
- clase de resistencia a compresión,
- dimensiones de fabricación expresadas por orden: longitud-anchura-altura (en mm),
- referencia a esta norma.

Ejemplos de denominación:

- BTC O 3, 295 × 140 × 95, UNE-41410.
- BTC P 5, 220 × 220 × 95, UNE-41410.
- BTC P 5, 300 × 145 × 105, UNE-41410.

### 6.2 Clasificación

Se distinguen dos categorías de bloques de tierra comprimida:

- a) categoría O: bloques comunes destinados a ser recubiertos por una protección cualquiera;
- b) categoría P: bloques cara vista.

En cada categoría, los bloques se clasifican en función de su resistencia mecánica mínima garantizada a compresión.

Según su resistencia mecánica mínima garantizada a compresión con respecto a la sección bruta y expresada en N/mm<sup>2</sup>, los bloques se clasifican de acuerdo con una de las clases de resistencia definidas en el apartado 5.6.

- BTC 1.
- BTC 3.
- BTC 5.

## 7 MARCADO Y ENTREGA

### 7.1 Marcado

Los documentos que acompañan el suministro (nota de entrega) deben llevar indicada la identificación propia y adecuada de cada fabricante.

La variación de la masa volumétrica de un lote determinado no deberá exceder de  $100 \text{ kg/m}^3$ .

### 7.2 Entrega

El plazo de entrega para fechar el final de fabricación debe ser tal que, teniendo en cuenta las condiciones de fabricación, las especificaciones de la norma sean respetadas.

Para los bloques con un estabilizante que requiera un tiempo de fraguado, el período de fabricación debe comprender obligatoriamente un periodo de cura suficiente y adecuado al tipo de estabilizante utilizado.

## 8 EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

El fabricante que, para la venta de sus productos, se base en esta norma, o en un texto que haga referencia a alguno de sus apartados, debe garantizar que todas las prescripciones enumeradas han sido respetadas y en particular, que se han efectuado las verificaciones correspondientes.

### 8.1 Aspecto

Se deberá controlar el aspecto de los bloques de la muestra y anotar los defectos eventuales. El material utilizado para controlar el aspecto del paramento debe permitir una apreciación con aproximación de 1 mm.

Se debe verificar que el estado de la superficie del paramento es conforme con la terminología de aspecto del paramento acordado a la hora del pedido.

### 8.2 Resistencia a compresión

Para el cálculo de la resistencia a compresión del BTC, se seguirá el procedimiento descrito en la Norma UNE-EN 772-1:2002, con la salvedad de que sólo se admitirá el ensayo de piezas enteras secadas al aire, no siendo, por tanto, de aplicación los apartados 7.3.3, 7.3.4 y 7.3.5 de dicha norma).

Para el cálculo de la resistencia normalizada a compresión, se aplicará a la resistencia característica obtenida tras el ensayo solamente el factor de forma correspondiente, sin aplicar el factor de conversión debido al acondicionamiento de la pieza.

### 8.3 Ensayo de humectación/secado

Este ensayo se debe realizar previamente al ensayo de erosión.

#### 8.3.1 Probetas

Se deben tomar dos bloques enteros, utilizándose uno de ellos como referencia.

#### 8.3.2 Equipo

El equipo necesario para realizar el ensayo estará formado por los siguientes elementos:

- Una bandeja, de dimensiones suficientes para alojar el BTC sin que exista contacto entre ambos y capaz de contener el volumen de agua necesario para el ensayo.
- Tres piezas de apoyo de 3 mm de altura.



### 8.3.3 Procedimiento

Se coloca la cara del bloque que vaya a ser vertical dentro de la bandeja y sobre los apoyos. Se añade agua hasta que quede sumergida hasta 10 mm. Se mantiene sumergida 30 s. Se deja secar al aire, hasta igualar el color del bloque de referencia, y se observa su estado, anotando si aparecen las condiciones de rechazo enumeradas en el apartado 5.7. Se repite 6 veces el ciclo de inmersión/secado/observación. Al sexto ciclo, se deja secar completamente y se observa.

### 8.3.4 Resultados

Los BTC, ensayados según el procedimiento anterior, resultarán aptos si tras seis ciclos de humectación/secado, no se observa ninguna de las condiciones enumeradas en el apartado 5.7 de esta norma.

## 8.4 Ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET)

### 8.4.1 Probetas

Se ensayarán al menos dos bloques enteros elegidos de manera aleatoria, curados durante 28 días antes del ensayo.

### 8.4.2 Equipo

En la figura 6 se muestra un esquema del equipo a utilizar.

### 8.4.3 Procedimiento

Se deja caer una corriente continua de agua sobre el bloque durante 10 min a través de un tubo de cristal de  $\varnothing_{\text{interior}} = 5 \text{ mm}$ , conectado a un tanque de agua de nivel constante, cuya cabecera está a 1,5 m sobre la cara del bloque. Éste se mantiene inclinado a  $27^\circ$  respecto a la horizontal. Con una varilla de  $\varnothing = 3 \text{ mm}$ , se mide la profundidad de las oquedades, (D) que aparecen.

### 8.4.4 Resultados

El BTC ensayado conforme a esta norma se clasificarán como “apto” o “no apto”, según el criterio detallado en el apartado 5.8 de esta norma.

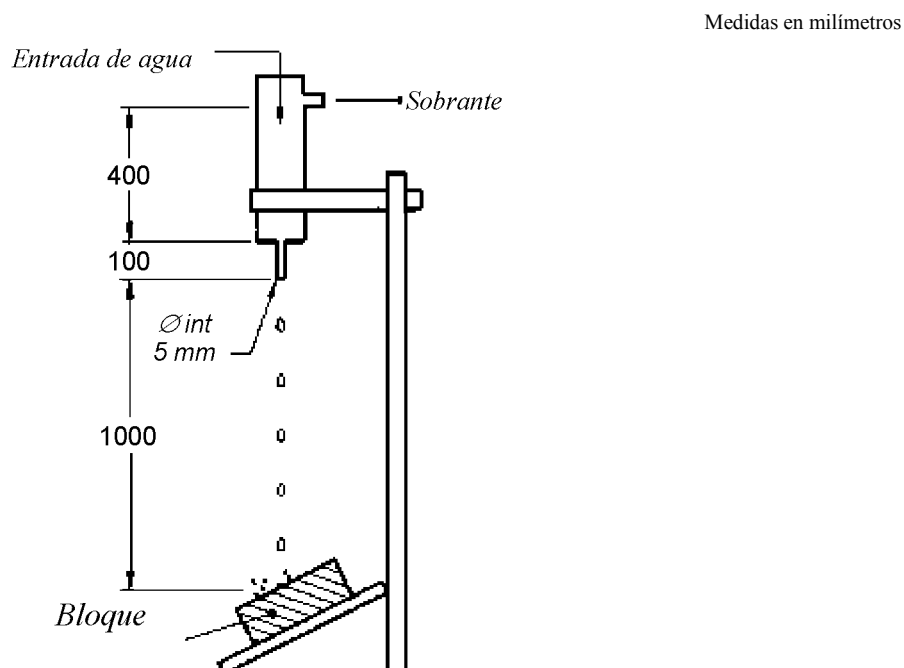


Figura 6 – Esquema del ensayo (informativo)

### 8.5 Ensayo de absorción de agua por capilaridad

La determinación de la absorción de agua por capilaridad en los BTC se realizará conforme a las Normas UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006, teniendo en cuenta las observaciones siguientes:

#### 8.5.1 Probetas

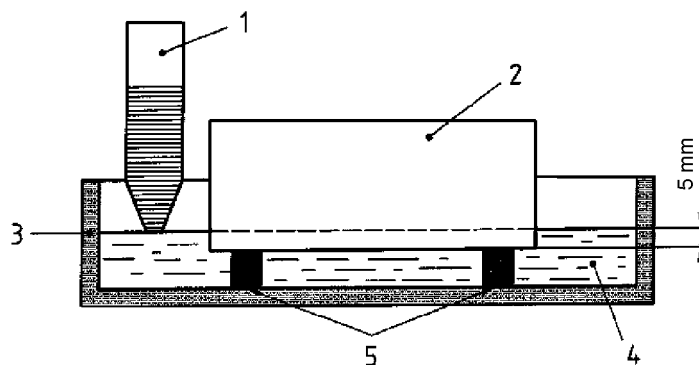
Las medidas se efectúan sobre seis bloques enteros.

#### 8.5.2 Equipo

Se debe utilizar el mismo equipo que se especifica en las Normas UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006, teniendo en cuenta que la estufa que se utilice ha de ser capaz de mantener una temperatura de  $70\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .

#### 8.5.3 Procedimiento

Se debe seguir el mismo procedimiento que el indicado en la Norma UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN-772-11:2001/A1:2006, pero el secado será a  $70\text{ °C}$  y el tiempo de inmersión será de 10 min ( $\pm 0,2\text{ min}$ ).



#### Leyenda

- |                              |                       |
|------------------------------|-----------------------|
| 1 Depósito (nivel constante) | 4 Agua potable        |
| 2 Bloque                     | 5 Soportes regulables |
| 3 Cubeta                     |                       |

**Figura 7 – Capilaridad. Esquema del ensayo (informativo)**

#### 8.5.4 Resultados

Se deben seguir las prescripciones de la Norma UNE-EN 772-11:2001 / y UNE-EN-772-11:2001A1:2006, con las apreciaciones siguientes:

- Para los bloques que presentan un dibujo regular sobre las dos caras, se tendrá en cuenta la superficie desarrollada.
- En los demás casos, no se tendrán en cuenta las irregularidades de la superficie en el cálculo del área.

## ANEXO A (Informativo)

### USO Y DURABILIDAD

#### A.1 Uso del BTC

Las piezas de BTC pueden ser utilizadas en aplicaciones de distinta naturaleza, debiendo exigirse para cada una de ellas las prestaciones adecuadas. En caso de que la aplicación sea novedosa, será el responsable del diseño de la construcción quien especifique las prestaciones mínimas exigibles.

Las aplicaciones particulares son las siguientes:

- Fábrica común: aquella que se emplea en exteriores o interiores, sin un fin estético, pudiendo ser portante o no.
- Fábrica protegida: aquella que se emplea en exteriores o interiores, protegida frente a la penetración de agua, pudiendo ser portante o no.
- Fábrica para revestir: aquella que se emplea en exteriores o interiores, que se recubrirá de una capa protectora adecuada, pudiendo ser portante o no.
- Fábrica vista: aquella que se emplea, con un fin estético, en exteriores o interiores, pudiendo ser portante o no. Constituida por piezas cuyo acabado sea atractivo, emplea sistemas de montaje y acabados con juntas de mortero adecuados a este tipo de piezas.
- Fábrica estructural: Aquella que se utiliza en exteriores o interiores, capaz de soportar cargas, además de su peso propio. Puede ser vista, común o revestida. Se considera que la fábrica de BTC, por sí sola, no posee capacidad resistente ante acciones sísmicas.

Los muros de fábrica tienen que garantizar prestaciones específicas ante los casos de incendio y ofrecer buen aislamiento acústico y térmico. Si fuera necesario se especificarán estas prestaciones en notas adicionales.

Los bloques de BTC tendrán que superar las condiciones de exposición locales para asegurar tanto la integridad estructural como la funcionalidad de la obra.

#### A.2 Durabilidad

Ante la actual inexistencia de códigos europeos de buena práctica que sirvan de guía para la ejecución de las obras con garantías de asegurar la durabilidad en servicio de la fábrica terminada, se proponen a continuación una serie de recomendaciones para la resistencia a los ciclos de hielo/deshielo y el contenido en sulfatos en condiciones de servicio, incluyendo el grado de exposición y el riesgo de saturación.

##### A.2.1 Resistencia al hielo/deshielo

Sería recomendable especificar el grado de resistencia al hielo/deshielo para el BTC, tras haber evaluado el grado de exposición al que se someterá la pieza, incluyendo la protección frente a la saturación de la fábrica.

El grado de exposición al hielo/deshielo sirve para definir el riesgo al que se ve sometida la fábrica ante la combinación de un contenido elevado de agua y la incidencia de ciclos de hielo/deshielo, teniendo en cuenta el diseño de la construcción. Los parámetros que se han de tener en cuenta a la hora de definir dicho riesgo son la temperatura y la humedad. Así, se pueden definir tres clases de exposición: severa, moderada y baja.

Sería recomendable evaluar la influencia de los posibles revestimientos superficiales que se empleen para proteger la fábrica. Un revestimiento superficial puede originar un incremento de las exigencias de construcción en zonas de clima costero templado.

A título informativo, se proponen los siguientes ejemplos de grado de exposición:

- Fábrica sometida a exposición severa: fábrica sin revestir, próxima al nivel del terreno (aproximadamente dos hiladas por encima) y chimenea de fábrica, cuando pueda existir riesgo combinado de saturación de agua y helada; coronaciones, cornisas y antepechos en zonas donde exista riesgo de helada; muros de cierre y muros pantalla cuando la pared no esté provista de un revestimiento.
- Fábrica sometida a exposición moderada: se pueden tomar una serie de medidas preventivas que moderen el riesgo de saturación de la fábrica, tales como protección de las coronaciones de muro por medio de albardillas o aleros, protección de alféizares de ventana con vierteaguas, membranas impermeables en la coronación y en la base de fachadas ventiladas.
- Fábrica sometida a exposición baja: fábrica de muros exteriores protegida mediante un revestimiento adecuado a las condiciones climáticas locales, fábrica de muros interiores y las hojas interiores de muros capuchinos.

### A.2.2 Acción de los sulfatos en piezas de BTC, morteros y revestimientos

La acción negativa de los sulfatos en fábricas de BTC deriva del uso del cemento Portland como constituyente de las piezas (estabilizante) o como mortero de unión de las piezas o como constituyente del revestimiento de la fábrica.

Resulta recomendable declarar la categoría de contenido en sales solubles activas de las piezas, del mortero y del revestimiento (si existe), para asegurar que no aparezca deterioro de los mismos en las condiciones particulares de uso.

Las tres categorías dadas en la tabla A.1 especifican los contenidos máximos recomendables de sulfatos (de sodio, potasio y magnesio) de las piezas, para las condiciones particulares de uso. Dichos contenidos se determinarán según la Norma UNE-EN 772-5:2002.

Las condiciones de uso quedan definidas a través del riesgo de saturación de agua, que se puede deducir de las categorías de exposición al hielo/deshielo (véase A.2.1).

S2: piezas, mortero o revestimiento con cemento Portland ordinario, sometidos a una posible saturación prolongada.

S1: piezas o mortero sometidos a una exposición moderada, protegidos debido al diseño detallado de la construcción. Mortero o revestimientos con cemento Portland resistente a los sulfatos sometidos a una posible saturación prolongada.

S0: fábrica completamente protegida contra la penetración de agua.

**Tabla A.1 – Categorías según el contenido en sales solubles activas**

Categoría	Contenido total en masa (%), no mayor de:	
	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
S0	Sin exigencia	Sin exigencia
S1	0,17	0,08
S2	0,06	0,03

NOTA Cuando el uso del producto prevea una protección completa contra la penetración de agua (por ejemplo, capa gruesa de enlucido, pared interior de un muro capuchino, muros interiores) no hay requisitos en cuanto al contenido en sales solubles activas (categoría S0).

**ANEXO B (Informativo)****AGUA DE AMASADO DE MORTEROS Y DE FABRICACIÓN DE LOS BTC**

Cuando no se posean antecedentes de su utilización, o en caso de duda, deberían analizarse las aguas que se utilicen para amasar los morteros a base de cemento o aquellas que se utilicen para fabricar los BTC en los que el cemento está entre sus constituyentes a modo de estabilizante. El análisis de las aguas se realizará según las normas siguientes:

Norma UNE 7132:1958

Norma UNE 7178:1960

Norma UNE 7235:1971

Norma UNE 83951:2008

Norma UNE 83952:2008

Norma UNE 83956:2008

Los requisitos recomendables para las aguas analizadas, y salvo justificación especial de que no alteran perjudicialmente las propiedades exigibles al mortero o al BTC, son los siguientes:

- $\text{pH} \geq 5$ , determinado según la Norma UNE 83952:2008.
- Sulfatos,  $(\text{SO}_4^{2-}) \leq 1 \text{ g/l}$  (1 000 p.p.m), determinados según la Norma UNE 83953:2008.
- Ión cloruro,  $(\text{Cl}^-) \leq 3 \text{ g/l}$  (3 000 p.p.m), determinado según la Norma UNE 7178:1960 (sólo para fábrica de BTC armada con acero).
- Hidratos de carbono = 0, determinados según la Norma UNE 7132:1958.
- Sustancias orgánicas solubles en éter  $\leq 15 \text{ g/l}$  (15 000 p.p.m), determinadas según la Norma UNE 7235:1971.

## ANEXO C (Informativo)

### ESTABILIZACIÓN

Esta norma contempla varios métodos de estabilización del BTC. A continuación se recogen algunas recomendaciones.

#### C.1 Criterios de elección de estabilizantes

Para decidirse por un método correcto de estabilización, se recomienda reunir suficiente información sobre los estabilizantes disponibles mediante una serie de criterios:

- Disponibilidad regional: se preferirán los productos cercanos.
- Minimización del impacto ambiental, realizándolo a partir del análisis del ciclo de vida del estabilizante: consumo mínimo de energía, agua y recursos renovables; emisión mínima de sustancias tóxicas al entorno desde su extracción, fabricación, transporte, aplicación y vida útil.
- Procesos tecnológicos apropiados a la puesta en obra y al mantenimiento.
- Evaluación económica.

#### C.2 Estabilidad de la tierra

Se entiende por una tierra estable aquella que presenta buena resistencia a la deformación y es poco sensible a la presencia de agua.

La utilización de estabilizantes es básica para la obtención de un material de calidad que resuelvan las posibles carencias del material tierra disponible.

Hay diferentes tipos de estabilización, agrupados según la acción que ejerzan sobre el material tierra. Estas acciones son:

- Química: cuando lo que añade es un producto que modifica la estructura granular a la que dota de una cohesión que no tenía o disminuye la excesiva plasticidad.
- Física: el estabilizante mejora las propiedades físicas de la tierra.
- Mecánica: una acción mecánica aumenta la compacidad del material. Ésta puede ser: estática, dinámica o mixta (proyección, amasado). La eficacia de este sistema depende de la granulometría, el grado de compactación y del grado de humedad de la mezcla. Normalmente la estabilización mecánica se consigue por compactación del suelo.

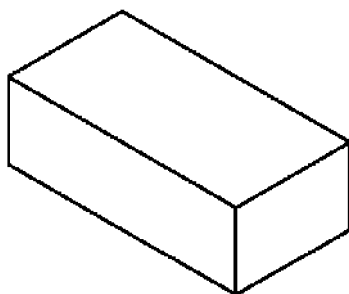
Ejemplos de estabilizantes químicos:

- Aceites naturales: Coco, savia de caucho, savias naturales, látex, prensado de oliva, etc.
- Silicatos de sosa y orina.
- Cal viva o apagada.
- Resinas acrílicas.
- Etilsilicatos, el hidróxido de Bario, ácido húmico y ácido tánico.
- Yema de huevo.

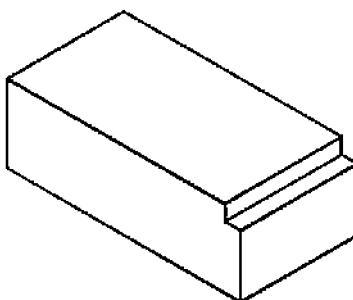
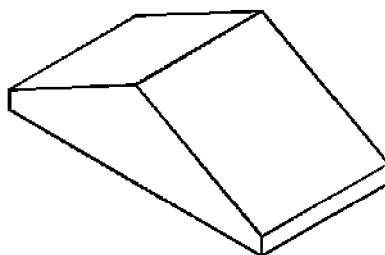
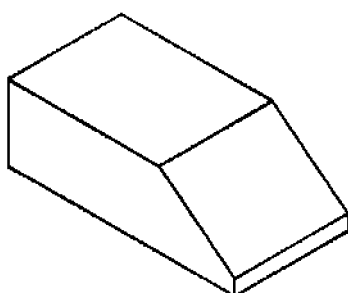
- Productos puzolánicos.
- Cementos.
- Yesos.
- Resinas.

Ejemplos de estabilizantes físicos:

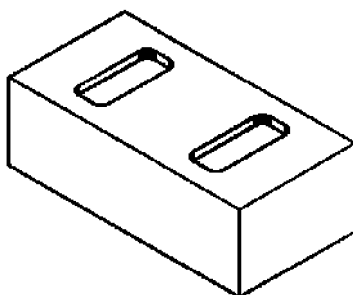
- Estabilización granulométrica: se realiza con la mezcla de suelos naturales, utilizándose normalmente una combinación binaria de suelos.
- Estabilización con fibras: crea un armazón interno, lo que aporta una mejora en el reparto de las tensiones en la matriz terrosa, pudiendo incrementar la resistencia a flexión y a cortante, y ayudando a evitar la retracción.

**ANEXO D (Informativo)****EJEMPLOS DE DIFERENTES FORMAS DE BLOQUES**

a) Bloque macizo

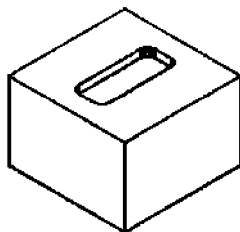


b) Piezas especiales macizas

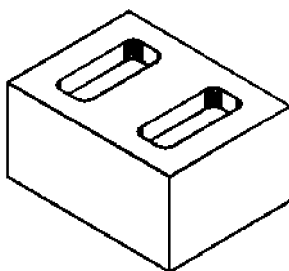


c) Bloque macizo con rebaje entero

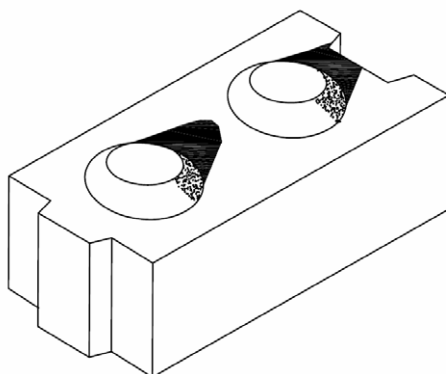




d) Bloque macizo con rebaje medio



e) Bloque macizo con rebaje tres cuartos



f) Bloque Mattone

**Figura D.1 – Ejemplos de diferentes formas de bloques**

## BIBLIOGRAFÍA

RCA-92. *Instrucción para la Recepción de Cales en obras de estabilización de suelos, (Orden de 18 de diciembre de 1992).*

RC-08. *Instrucción para la recepción de cementos, (R.D. 956/2008, de 6 de junio).*

Código Técnico de la Edificación (RD 1351/2007 de 19 de octubre).

UNE 7132:1958 *Determinación cualitativa de hidratos de carbono en aguas de amasado para morteros y hormigones.*

UNE 7178:1960 *Determinación de los cloruros contenidos en el agua utilizada para la fabricación de morteros y hormigones.*

UNE 7235:1971 *Determinación de los aceites y grasas contenidos en el agua de amasado de morteros y hormigones.*

UNE 83951:2008 *Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Toma de muestras.*

UNE 83952:2008 *Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Determinación del pH. Método potenciométrico.*

UNE 83956:2008 *Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Determinación del contenido en ion sulfato.*

UNE 103100:1995 *Preparación de muestras para ensayos de suelos.*

UNE-EN 771-1:2003 *Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Piezas de arcilla cocida.*

UNE-EN 771-3:2004 *Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 3: Bloques de hormigón (áridos densos y ligeros).*

UNE-EN 772-5:2002 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 5: Determinación del contenido en sales solubles activas en las piezas de arcilla cocida para albañilería.*

UNE-EN 13501-1:2007 *Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.*



---

# AENOR

Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Génova, 6  
28004 MADRID-España

[info@aenor.es](mailto:info@aenor.es)  
[www.aenor.es](http://www.aenor.es)

Tel.: 902 102 201  
Fax: 913 104 032

Octubre 2002

### TÍTULO

**Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería**

**Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión**

*Methods of test for masonry units. Part 1: Determination of compressive strength.*

*Méthodes d'essai des éléments de maçonnerie. Partie 1: Détermination de la résistance à la compression.*

### CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 772-1 de junio de 2000.

### OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN 772-1 de marzo de 2001.

### ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 41 *Construcción* cuya Secretaría desempeña AENOR.



ICS 91.100.15

Versión en español

## **Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión**

**Methods of test for masonry units.  
Part 1: Determination of compressive  
strength.**

**Méthodes d'essai des éléments de  
maçonnerie. Partie 1: Détermination de la  
résistance à la compression.**

**Prüfverfahren für Mauersteine.  
Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit.**

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 1999-06-03. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

**CEN**  
**COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN**  
European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung  
**SECRETARÍA CENTRAL: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles**

© 2000 Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>5</b>
<b>1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>2 NORMAS PARA CONSULTA .....</b>	<b>6</b>
<b>3 FUNDAMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>4 SÍMBOLOS.....</b>	<b>7</b>
<b>5 MATERIALES .....</b>	<b>7</b>
<b>6 APARATOS .....</b>	<b>7</b>
<b>7 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS .....</b>	<b>8</b>
<b>8 PROCEDIMIENTO OPERATORIO.....</b>	<b>11</b>
<b>9 CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>12</b>
<b>10 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>12</b>
<b>11 INFORME DEL ENSAYO .....</b>	<b>12</b>
 <b>ANEXO A (Informativo)    CONVERSIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LAS PIEZAS PARA FÁBRICA DE ALBAÑILERÍA A RESISTENCIA A COMPRESIÓN NORMALIZADA.....</b>	 <b>14</b>



## ANTECEDENTES

Esta norma europea ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 125 "*Albañilería*", cuya Secretaría desempeña BSI.

Esta norma europea deberá recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de diciembre de 2000, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deberán anularse antes de finales de diciembre de 2000.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, los organismos de normalización de los siguientes países están obligados a adoptar esta norma europea: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

El anexo A es un anexo informativo que facilita los detalles sobre la conversión de la resistencia medida a resistencia a la compresión normalizada.

Excepto en caso de conflicto se pueden utilizar otros métodos siempre y cuando los resultados obtenidos puedan ser convertidos a resultados de este método multiplicándolos por los coeficientes adecuados.

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma europea especifica un método para determinar la resistencia a compresión de las piezas para albañilería.

## 2 NORMAS PARA CONSULTA

Esta norma europea incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Las revisiones o modificaciones posteriores de cualquiera de las publicaciones referenciadas con fecha, sólo se aplican a esta norma europea cuando se incorporan mediante revisión o modificación. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de esa publicación.

prEN 771-1 – *Especificación de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Piezas cerámicas.*

prEN 771-2 – *Especificación de piezas para fábrica de albañilería. Parte 2: Piezas sílicocalcáreas.*

prEN 771-3 – *Especificación de piezas para fábrica de albañilería. Parte 3: Bloques de hormigón (con áridos densos y ligeros).*

prEN 771-4 – *Especificación de piezas para fábrica de albañilería. Parte 4: Bloques de hormigón celular curado en autoclave.*

prEN 771-5 – *Especificación de piezas para fábrica de albañilería. Parte 5: Piezas de piedra artificial.*

prEN 771-6 – *Especificación de piezas para fábrica de albañilería. Parte 6: Piezas de piedra natural.*

prEN 772-2 – *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de la albañilería. Parte 2: Determinación del porcentaje de huecos en los elementos de muros de fábrica de hormigón (mediante impresión sobre papel).*

prEN 772-13 – *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 13: Determinación de la densidad absoluta seca y de la densidad aparente seca de las piezas para fábrica de albañilería (excepto piedra natural).*

prEN 772-16 – *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 16: Determinación de las dimensiones.*

prEN 1015-11 – *Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido.*

ISO 468 – *Rugosidad superficial. Parámetros, sus valores y las reglas generales para la determinación de las especificaciones.*

EN ISO 6507-1 – *Materiales metálicos. Ensayo de dureza Vickers. Parte 1: Métodos de ensayo. (ISO 6507-1:1997)*

## 3 FUNDAMENTO

Las probetas, después de su preparación, si fuera necesaria, se colocan en el centro del plato de una prensa de compresión. Se aplica una carga uniformemente repartida y se aumenta de manera continua hasta la rotura.

## 4 SÍMBOLOS

$f_b$  es la resistencia a compresión normalizada de una pieza de fábrica de albañilería ( $\text{N/mm}^2$ );

$\delta$  es el factor de forma utilizado para convertir la resistencia a compresión de las piezas de fábrica de albañilería secadas al aire, en la resistencia a compresión normalizada.

## 5 MATERIALES

- Arena con un tamaño máximo de grano de 1 mm.
- Cemento.

## 6 APARATOS

**6.1 Máquina de ensayo** conforme a los requisitos de la **tabla 1**.

**Tabla 1**  
**Requisitos para las máquinas de ensayo**

Máximo error relativo de repetibilidad expresado como porcentaje de la fuerza indicada %	Máximo error relativo medio de exactitud expresado como porcentaje de la fuerza indicada %	Máximo error relativo de cero expresado como porcentaje del alcance nominal de la escala %
2,0	$\pm 2,0$	$\pm 0,4$

La prensa deberá tener una capacidad suficiente para romper cualquier probeta. La escala utilizada deberá ser tal que la carga de rotura aplicada sobre la probeta sea superior a un quinto del fondo de escala. La prensa deberá estar provista de un cadenciómetro o un dispositivo equivalente que permita aplicar la carga a la velocidad indicada en el apartado 8.2. La prensa deberá estar equipada con dos platos de acero. La rigidez de estos platos y el modo de transferir la carga deberán ser tales que la flecha de la superficie de los platos bajo la carga de rotura deberá ser inferior a 0,1 mm medido sobre una longitud de 250 mm. Los platos deberán ser de acero templado o con un tratamiento de cementado en sus caras. Las caras de los platos de ensayo deberán tener una dureza Vickers como mínimo de 600 HV medidos conforme a la Norma Europea EN ISO 6507-1.

Cuando se establece el contacto, uno de los platos de la máquina podrá adaptarse libremente sobre la probeta, siendo necesario un dispositivo que limite el movimiento de basculamiento durante la aplicación de la carga. El otro plato deberá ser un bloque plano no basculante. Las caras de los dos platos deberán ser más grandes que la dimensión mayor de la probeta sometida a ensayo. Cuando se utilicen platos auxiliares, deberán colocarse correctamente y tener la misma dureza, rigidez y planeidad que los platos principales. Las caras de los platos no deberán tener una desviación respecto a una superficie plana mayor de 0,05 mm.

La rugosidad de la superficie no será superior a  $3,2 \mu\text{m } R_a$ , determinada como se especifica en la Norma Internacional ISO 468.

**6.2 Una balanza** capaz de pesar las probetas con una precisión de 0,1% de su masa.

**6.3 Pletinas de acero** suficientemente rígidas para utilizarse en los ensayos de las piezas con rotura de junta (véase el apartado 8.1).

## 7 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

### 7.1 Toma de muestras

La toma de muestras deberá ser conforme al proyecto de Norma Europea prEN 771. El número mínimo de probetas deberá ser 6, salvo en el caso en que las especificaciones del producto requieran un número superior. En el caso de grandes piezas para fábrica de albañilería, se pueden extraer partes representativas (por ejemplo, cubos) de diferentes zonas, como se indica en el proyecto de Norma Europea prEN 771 (véase también la nota del apartado 7.2.4).

### 7.2 Preparación de las superficies

**7.2.1 Generalidades.** Las probetas se deberán preparar como se indica en el proyecto de Norma Europea prEN 771. Deberán someterse a los ensayos en la dirección prescrita indicándose en el informe del ensayo. Para algunos tipos de construcción, será necesario someter las piezas de albañilería a ensayos en más de una dirección.

Después de eliminar toda materia superflua (por ejemplo rebabas del proceso de fabricación), las caras de la probeta sobre las cuales se aplica la carga, tanto de una pieza entera como de una parte extraída de una pieza (véase el apartado 7.1), deberán ser planas con una tolerancia de 0,1 mm por 100 mm. El paralelismo entre las caras superior e inferior no deberá desviarse más de 1 mm por cada 100 mm. Si las caras de ensayo de la pieza original o si la parte extraída no satisface esta condición, se preparará la superficie por desbaste (véase el apartado 7.2.4) o por refrentado (véase el apartado 7.2.5) como se prescribe en la norma de producto correspondiente.

Las piezas para fábrica de albañilería que presenten rehundidos y no necesiten refrentado se deberán someter a un tratamiento suplementario como se indica en el apartado 7.2.3.

Si las probetas tienen machihembrados, se preparan como se indica en el apartado 7.2.2.

El método utilizado para la preparación de las superficies se indicará en el informe de ensayo.

**7.2.2 Eliminación de los machihembrados.** Se deben eliminar los machihembrados de las caras de ensayo de las piezas antes de someterlas a ensayo. Si las probetas se obtienen por corte de piezas enteras, dicha operación se debe realizar de manera que se eliminen los machihembrados.

**7.2.3 Preparación de las piezas para fábrica de albañilería que presentan rehundidos y no necesitan refrentado.** Cuando se ensayen piezas para fábrica de albañilería que presenten rehundidos y la superficie neta sometida a la carga represente más del 35% de la superficie bruta de la cara de apoyo, no se eliminarán ni rellenarán los rehundidos. Cuando la superficie neta sometida a la carga sea menor o igual al 35% de la superficie bruta, los rehundidos deberán llenarse de mortero del mismo tipo que el usado en la capa de refrentado (véase el apartado 7.2.5) y la conservación se realizará según lo especificado en el apartado 7.2.5.4.

**7.2.4 Desbaste.** Se desbastan las superficies de la probeta hasta que se satisfagan las exigencias de planeidad, y el paralelismo indicados en el apartado 7.2.1. Por otra parte, si las piezas presentan rehundidos, dentados, alveolos, celdillas, y huecos, éstos no deben ser alterados. Si el desbaste alterara de forma importante la superficie de contacto de las caras de ensayo, se efectuará la operación de refrentado descrita en el apartado 7.2.5. Si después del desbaste la altura resultante de las probetas fuera inferior a 40 mm o la relación altura/anchura inferior a 0,4, se hará una probeta especial colocando dos probetas una encima de otra sin mortero, ni material de agarre ni capa intermedia.

NOTA — Cuando una probeta especial esté compuesta por varios elementos desbastados, se debería considerar como una única probeta dando un solo resultado de ensayo. En consecuencia, será necesario un número de piezas mayor del definido en el proyecto de Norma Europea prEN 771 para obtener el número de resultados de ensayo requerido.

### 7.2.5 Refrentado de superficie

**7.2.5.1 Refrentado de las piezas para fábrica de albañilería sin huecos o con huecos no rellenos.** Se utilizará un mortero de cemento y arena para refrentar las probetas. La resistencia a compresión mínima del mortero, medida según lo indicado en el proyecto de Norma Europea prEN 1015-11, será como mínimo la prevista para las piezas de albañilería o de 30 N/mm<sup>2</sup>, tomando el menor de los dos valores.

Si fuera necesario, por ejemplo, para las piezas con elevada capacidad de absorción de agua, se humedecerán previamente las caras a refrentar. Se coloca cada probeta sobre una placa lisa rígida de vidrio o de acero inoxidable, cuya desviación con respecto a una superficie plana sea inferior a 0,1 mm por 100 mm, según el procedimiento siguiente:

Se fija sólidamente la placa de refrentado, nivelándola en dos direcciones perpendiculares con ayuda de un nivel de burbuja. Se cubre la placa con una película de aceite de desmoldeo, una hoja de papel fino o una película plástica, a fin de impedir que el mortero se adhiera a la placa. Se coloca sobre la placa una capa uniforme de mortero de unos 5 mm de espesor y de dimensiones superiores a la de la pieza, de unos a 25 mm más de longitud y 10 mm más de anchura. Se presiona firmemente la cara de contacto de la probeta contra la capa de mortero, de forma que el eje vertical de la probeta sea perpendicular al plano de la placa. Se comprueba que esta condición se cumple con ayuda de una escuadra o un nivel de burbuja aplicado en cada una de las cuatro caras verticales de la probeta. Se debe asegurar que el espesor de la capa de mortero sea como mínimo de 3 mm en toda la superficie y que quedan rellenas todas las perforaciones que normalmente quedan cubiertas en la obra. Sólo se deben rellenar las cavidades que esté previsto que vayan a estar rellenas en el muro. Se elimina el mortero sobrante de las caras de la probeta. Se cubre la probeta refrentada con un paño que se deberá mantener húmedo. La capa de mortero se examina cuando haya endurecido suficientemente<sup>1)</sup>. Si está exenta de defectos, como falta de compactación, falta de adherencia y/o de fisuras, se refrenta la segunda cara de igual manera que la primera, utilizando un mortero fabricado con materiales que provengan de los mismos lotes de cemento y arena, y con la misma dosificación. Después de retirar las probetas de la placa se debe verificar que la superficie de mortero está exenta de defectos como se ha indicado anteriormente. Si fuera necesario, se podrán realizar pequeñas perforaciones en la capa de refrentado, para drenar el agua contenida en las cavidades.

**7.2.5.2 Refrentado de las piezas para fábrica de albañilería con ruptura de junta simple<sup>2)</sup>.** Cuando se trate de piezas para fábrica de albañilería con ruptura de junta y éstas no sean rectificadas por refrentado, se coloca cada probeta en el mortero, como se especifica en el apartado 7.2.5.1, de acuerdo al siguiente procedimiento operatorio.

Se fija y se recubre la placa de refrentado como se describe en el apartado 7.2.5.1. Se colocan dos bandas de mortero paralelas, de unos 5 mm de espesor, de manera que cada banda sea 25 mm más larga que la pieza y unos 10 mm más ancha que el espesor de apoyo.

Se presiona firmemente la cara de contacto de la pieza sobre el mortero de forma que el espesor del lecho de contacto sea de 3 mm como mínimo. Se verifica que el eje vertical de la probeta sea perpendicular a la placa, sirviéndose de una escuadra o un nivel de burbuja vertical para comprobar la verticalidad de cada una de las caras.

Se elimina el mortero sobrante. Se conserva la probeta y se refrenta la segunda cara según lo especificado en los apartados 7.2.5.1 y 7.2.5.2.

**7.2.5.3 Refrentado de las piezas para fábrica de albañilería con ruptura de juntas múltiple.** Cuando las piezas sean con ruptura de junta múltiple, se seguirá el método operatorio especificado en el apartado 7.2.5.2, salvo que el mortero de refrentado se aplicara conformando las mismas bandas con las que se coloca en obra.

**7.2.5.4 Conservación de las probetas durante el tiempo de curado.** Las probetas se deben dejar endurecer cubiertas con paños que se mantendrá húmedos durante el tiempo total de curado, o almacenarlas en una cámara acondicionada donde haya una humedad relativa superior al 90%. Se deja endurecer el mortero un período de tiempo suficiente, para asegurar que alcanza la resistencia mínima especificada en el apartado 7.2.5.1.

1) Se considera que el mortero está suficientemente endurecido cuando haya fraguado.

2) Son del hueco.

### 7.3 Acondicionamiento de las probetas antes del ensayo

**7.3.1 Generalidades.** Las probetas se someterán a condiciones de humedad prescritas o a un contenido de humedad prescrito, según el caso. El método de acondicionamiento será como se describe en este apartado. El método será como se especifica para cada tipo de producto en el proyecto de Norma Europea prEN 771. En todos los casos, salvo en el acondicionamiento por inmersión, se asegurará una circulación libre de aire alrededor de cada una de las probetas durante el proceso de curado.

**7.3.2 Acondicionamiento por secado al aire.** Las condiciones de secado al aire se obtendrán conforme a uno de los métodos operativos siguientes:

- a) Se almacenan las probetas durante al menos 14 días en el laboratorio a:

temperatura  $\geq 15\text{ °C}$ ;

humedad relativa  $\leq 65\%$ ;

Se permitirá someter las probetas a los ensayos antes de 14 días si se hubiera logrado una masa constante.

La masa constante se alcanza cuando durante el periodo de secado, entre dos pesadas consecutivas, realizadas al menos con un intervalo de 24 h, la pérdida de masa calculada es inferior al 0,2% de la masa de la probeta.

- b) Se seca las probetas durante al menos 24 h a  $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ , después se dejan enfriar hasta la temperatura ambiente durante al menos 4 h.

**7.3.3 Acondicionamiento por secado en estufa.** La condición de secado en estufa se obtendrá conforme a uno de los métodos operativos siguientes:

- a) Se secan las probetas a  $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  hasta obtener una masa constante. La masa constante se alcanza cuando durante el periodo de secado, entre dos pesadas consecutivas, realizadas al menos con un intervalo de 24 h, la pérdida de masa calculada es inferior al 0,2% de la masa de la probeta.

- b) Se secan las probetas a  $70\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  hasta masa constante. La masa constante se alcanza cuando, durante el periodo de secado, entre dos pesadas consecutivas realizadas al menos con un intervalo de 24 h, la pérdida de masa calculada es inferior al 0,2% de la masa de la probeta. Después del secado y antes de los ensayos las probetas se conservan a  $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  hasta que se alcance el equilibrio térmico. Después de esto, se efectúa el ensayo dentro de las 24 h siguientes.

**7.3.4 Acondicionamiento para un contenido de agua del 6%.** Se acondicionan las probetas hasta un contenido de agua de  $6\% \pm 2\%$  en masa como sigue:

Se calcula la masa seca de la probeta en base a su volumen, que se calculará a partir de las dimensiones determinadas según el proyecto de Norma Europea prEN 772-16, y la densidad del material seco según el proyecto de Norma Europea prEN 772-13. Se secan las probetas a una temperatura inferior a  $50\text{ °C}$  hasta obtener su masa con una precisión del  $\pm 0,2\%$  con respecto a la masa del material seco.

Después del acondicionamiento para un contenido de agua del 6% y antes del ensayo, las probetas se almacenan en un recinto a temperatura ambiente durante al menos 5 h.

Se verifica y se anota la masa de la probeta justo antes del ensayo.

**7.3.5 Acondicionamiento por inmersión.** Se sumergen las probetas en agua a una temperatura de  $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  durante un período mínimo de 15 h y después se dejan escurrir de 15 min a 20 min.

## 7.4 Área sometida a carga

**7.4.1 Área bruta.** El área bruta de la superficie sometida a carga de cada probeta, se debe calcular en milímetros cuadrados, multiplicando la longitud por la anchura determinada según el proyecto de Norma Europea prEN 772-16. En el caso en que, las probetas sean sometidas a ensayos aplicando la fuerza de compresión en una dirección distinta de la normal con relación a la cara de apoyo, el área bruta se calculará de forma idéntica pero utilizando la anchura y la altura o la longitud y la altura, según el caso.

**7.4.2 Área neta sometida a carga, para piezas con rehundidos que deban rellenarse con mortero en obra.** Cuando la superficie neta de las piezas para fábrica de albañilería contenga un rehundido que vaya a ser rellenado con mortero en obra (véase el apartado 7.2.3) y no sea inferior al 35% del área bruta, la resistencia a compresión se calculará entonces a partir del área neta de la cara de apoyo que contenga el rehundido. Cuando el área neta de las piezas con rehundido sea menor del 35% del área bruta, la resistencia a compresión se calculará entonces a partir del área bruta de la pieza. En el caso de que los rehundidos estén en las dos caras de apoyo, el área neta sometida a carga que se deberá considerar será la más pequeña de los dos valores.

Si los rehundidos tienen forma regular, se determina su superficie en cada una de las probetas por simple medida y siguiendo los principios de la geometría. Para los rehundidos rectangulares se determina su superficie en cada probeta midiendo la longitud y anchura de su perímetro con una regla de acero rígida. Las medidas se deberán realizar con una aproximación de 1 mm. Se calcula el área neta sometida a carga sobre cada probeta determinando la diferencia entre el área bruta de la cara de apoyo y la del rehundido.

Para las piezas que contengan un rehundido de forma irregular, el área neta sometida a carga se podrá determinar con la ayuda del método de la huella, siguiendo lo especificado en el proyecto de Norma Europea prEN 772-2.

## 8 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

### 8.1 Colocación de las probetas en la máquina de ensayo

Se limpian los platos de la máquina de ensayo (véase el apartado 6.1) secándolos y se eliminan todas las partículas que existan en las caras de apoyo de la probeta. Se alinea cuidadosamente la probeta con el centro del plato para obtener un asentamiento uniforme. Las piezas que tengan un solo rehundido se deben colocar con éste hacia arriba. En el caso en que la pieza tenga rehundidos en ambas caras se colocará hacia arriba la cara que contenga el de mayor tamaño.

No se utilizarán materiales de relleno salvo para piezas con ruptura de junta simple o múltiple que hayan sido preparadas por rectificado. En este caso, se colocan cuatro pletinas de acero rígido (véase el apartado 6.3) de la misma anchura que las juntas y 50 mm más largas. Se colocan dos debajo de la probeta y dos encima, en la misma posición en ambas caras.

### 8.2 Aplicación de la carga

Para comenzar, se utiliza una velocidad de carga que sea adecuada, cuando se haya aplicado alrededor de la mitad de la carga máxima prevista, se ajusta la velocidad de tal manera que la carga máxima se alcance como mínimo en 1 min aproximadamente.

Se anota la carga máxima obtenida.

**Tabla 2**  
**Velocidad de carga**

<b>Resistencia a compresión prevista (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Velocidad de carga (N/mm<sup>2</sup>)/s</b>
< 10	0,05
11 a 20	0,15
21 a 40	0,3
41 a 80	0,6
> 80	1,0

NOTA – Con ciertas probetas, la carga aplicada es susceptible de variar varias veces antes de alcanzar la carga máxima de rotura. La disminución de la carga es visible en el momento en que la probeta cede. Esto irá seguido de un aumento de la carga. Esta disminución temporal se puede producir varias veces antes de la rotura de la probeta.

## 9 CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Se calcula la resistencia de cada probeta dividiendo la carga máxima por la superficie sometida a carga, que corresponde al área bruta de las piezas que se colocan con tendel continuo, con ruptura de junta simple o múltiple y aquéllas que presenten rehundidos que no se rellenen con mortero en obra, o conforme a lo especificado en el apartado 7.4.2 en otros casos. El resultado se expresa con una aproximación de 0,1 N/mm<sup>2</sup>.

## 10 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

Se calcula la resistencia a compresión efectuando la media de las resistencias de las probetas individuales con una aproximación de 0,1 N/mm<sup>2</sup>.

Se calcula el coeficiente de variación de la muestra.

## 11 INFORME DEL ENSAYO

El informe del ensayo debe contener la siguiente información:

- el título, el número y la fecha de publicación de la presente norma europea;
- el nombre del organismo que ha efectuado la toma de muestras y el método empleado;
- fecha del ensayo;
- tipo, origen y designación de la pieza para fábrica de albañilería haciendo referencia al proyecto de Norma Europea prEN 771;
- número de probetas de la muestra;
- fecha de recepción de las probetas en el laboratorio de ensayo;
- croquis de la probeta si fuera necesario, mostrando la superficie sometida a la carga y la altura y orientación de la misma;



- h) método de acondicionamiento;
- i) el contenido de agua en el momento de ensayo para las piezas con acondicionamiento del 6%;
- j) método utilizado para la preparación de las superficies;
- k) carga de rotura en N y las dimensiones medidas en mm de cada probeta;
- l) resistencia a compresión de las probetas, expresada en  $\text{N/mm}^2$  redondeando al 0,1  $\text{N/mm}^2$  más cercano y el coeficiente de variación de la muestra al 0,1% más cercano;
- m) resistencia a compresión de la muestra en  $\text{N/mm}^2$ , redondeando al 0,1  $\text{N/mm}^2$  más cercano;
- n) si se requiere el valor de la resistencia a compresión normalizada (véase el anexo A) en  $\text{N/mm}^2$ , redondeando al 0,1  $\text{N/mm}^2$  más cercano;
- o) todas las observaciones eventuales.

## ANEXO A (Informativo)

**CONVERSIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LAS PIEZAS PARA  
FÁBRICA DE ALBAÑILERÍA A RESISTENCIA A COMPRESIÓN NORMALIZADA**

Se puede obtener un valor de resistencia a compresión normalizada para su utilización en el proyecto, a partir de la resistencia a compresión evaluada según esta norma.

En este caso, la resistencia a compresión se convierte primero en una resistencia a compresión equivalente correspondiente al régimen de acondicionamiento por secado al aire. Cuando sea necesario los valores usados como factores de conversión serán los siguientes:

Para las piezas acondicionadas conforme al apartado 7.3.2 ó 7.3.4: 1,0;

Para las piezas acondicionadas conforme al apartado 7.3.3: 0,8;

Para las piezas acondicionadas conforme al apartado 7.3.5: 1,2.

A fin de obtener la resistencia a compresión normalizada  $f_b$ , la resistencia a compresión de las piezas secadas al aire se multiplicará por un factor de forma dado en la tabla A.1 determinando la anchura y la altura según el proyecto de Norma Europea prEN 772-16.

En el caso en que los ensayos se hayan realizado con probetas obtenidas por corte de piezas enteras, la resistencia a compresión normalizada es la misma que se aplica a las piezas enteras de las cuales fueron extraídas.

**Tabla A.1**  
**Factor de forma,  $\delta$ , permitirá tener en cuenta las dimensiones de las probetas**  
**sometidas a los ensayos después de la preparación de su superficie**

<b>Altura<sup>1)</sup> en mm</b> \ <b>Anchura en mm</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>≥ 250</b>
<b>40</b>	0,80	0,70	–	–	–
<b>50</b>	0,85	0,75	0,70	–	–
<b>65</b>	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
<b>100</b>	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
<b>150</b>	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
<b>200</b>	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
<b>≥ 250</b>	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

NOTA – Se permitirá una interpolación lineal entre los valores adyacentes del factor de forma.

1) Altura después de la preparación de la superficie.



---

# AENOR

Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32

Marzo 2001

### TÍTULO

#### Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería

**Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería, en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería**

*Methods of test for masonry units. Part 11: Determination of water absorption of aggregate concrete, manufactured stone and natural stone masonry units due to capillary action and the initial rate of water absorption of clay masonry units.*

*Méthodes d'essai des éléments de maçonnerie. Partie 11: Détermination de l'absorption de l'eau par capillarité des éléments de maçonnerie en béton de granulats, en pierre reconstituée et naturelle, et du taux initial d'absorption d'eau des éléments de maçonnerie en terre cuite.*

### CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 772-11 de marzo 2000.

### OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Normas UNE 41171 EX de junio 1989, UNE 67031 de julio 1985 y su erratum 1986.

### ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 41 *Construcción* cuya Secretaría desempeña AENOR.



ICS 91.100.15; 91.100.30

Versión en español

## **Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería**

### **Parte 11: Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería, en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería**

Methods of test for masonry units.  
Part 11: Determination of water absorption of aggregate concrete, manufactured stone and natural stone masonry units due to capillary action and the initial rate of water absorption of clay masonry units.

Méthodes d'essai des éléments de maçonnerie. Partie 11: Détermination de l'absorption de l'eau par capillarité des éléments de maçonnerie en béton de granulats, en pierre reconstituée et naturelle, et du taux initial d'absorption d'eau des éléments de maçonnerie en terre cuite.

Prüfverfahren für Mauersteine.  
Teil 11: Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme von Mauersteinen aus Beton, Betonwerksteinen und Natursteinen sowie der anfänglichen Wasseraufnahme von Mauerziegeln.

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2000-02-26. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

**CEN**  
**COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN**  
European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung  
**SECRETARÍA CENTRAL: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles**

© 2000 Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

## ÍNDICE

	Página
ANTECEDENTES .....	5
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN .....	6
2 NORMAS PARA CONSULTA .....	6
3 FUNDAMENTO .....	6
4 SÍMBOLOS.....	6
5 APARATOS .....	7
6 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS .....	7
7 PROCEDIMIENTO OPERATORIO.....	7
8 CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS.....	8
9 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	8
10 INFORME DEL ENSAYO .....	8



### ANTECEDENTES

Esta norma europea ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 125 "*Albañilería*", cuya Secretaría desempeña BSI.

Esta norma europea deberá recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de septiembre de 2000, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deberán anularse antes de finales de septiembre de 2000.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, los organismos de normalización de los siguientes países están obligados a adoptar esta norma europea: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma europea describe un método que permite determinar el coeficiente de absorción de agua por capilaridad de los bloques cerámicos en hormigón de piedra natural o de machaqueo, y la tasa de absorción inicial de agua de los bloques cerámicos de arcilla cocida.

## 2 NORMAS PARA CONSULTA

Esta norma europea incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Las revisiones o modificaciones posteriores de cualquiera de las publicaciones referenciadas con fecha, sólo se aplican a esta norma europea cuando se incorporan mediante revisión o modificación. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de esa publicación.

pEN 771-1 – *Especificación de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Piezas cerámicas.*

pEN 771-3 – *Especificación de piezas para fábrica de albañilería. Parte 3: Bloques de hormigón (con áridos densos y ligeros).*

pEN 771-5 – *Especificación de piezas para fábrica de albañilería. Parte 5: Piezas de piedra artificial.*

pEN 771-6 – *Especificación de piezas para fábrica de albañilería. Parte 6: Piezas de piedra natural.*

prEN 771-16 – *Especificación de piezas para fábrica de albañilería. Parte 16: Determinación de las dimensiones.*

## 3 FUNDAMENTO

Después del secado hasta una masa constante, una cara de la pieza para fábrica de albañilería se sumerge en el agua durante una duración específica y el aumento de una masa determinada.

Para las piezas para fábrica de albañilería en arcilla cocida, la tasa inicial de absorción de agua en la superficie expuesta se medirá. Para los bloques de hormigón con áridos, de piedra natural o piedra de machaqueo, esta absorción de agua en la cara expuesta del bloque se medirá, conforme a lo descrito a la norma del producto correspondiente.

## 4 SÍMBOLOS

$m_{\text{seco},s}$  es la masa de la probeta después del secado, en gramos (g);

$m_{\text{so},s}$  es la masa de la probeta después de la inmersión durante un tiempo  $t$ , en gramos (g);

$A_s$  superficie bruta de la cara de probeta sumergida en el agua en milímetros cuadrados ( $\text{mm}^2$ );

$t_{\text{so}}$  tiempo de inmersión, en segundos (s)

NOTA – Especificada en el proyecto de Norma Europea prEN 771.

$C_{w,s}$  es el coeficiente de absorción del agua por capilaridad de los bloques de hormigón con áridos naturales o de machaqueo en gramos por metro cuadrado segundo  $[\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{min})]^{0,5}$ ;

$C_{wi,s}$  es la tasa inicial de absorción de agua de los bloques de arcilla cocida, en kilogramos por metro cuadrado minuto  $[(\text{kg}/(\text{m}^2 \times \text{min}))]$ .

## 5 APARATOS

**5.1** Una **cubeta** de una profundidad mínima de 20 mm, más grande que la cara del bloque cerámico a sumergir, y dotado de un dispositivo que permita mantener el agua a un nivel constante;

**5.2** Un **soporte** de 400 mm<sup>2</sup> de superficie máxima a fin de mantener cada probeta por encima de la cubeta.

**5.3** Un **cronómetro** graduado en segundos.

**5.4** Una **estufa** capaz de mantener una temperatura de 70 °C ± 5 °C para los bloques de hormigón con áridos naturales o de machaqueo, o una temperatura de 105 °C ± 5 °C para los bloques cerámicos.

**5.5** Una **balanza** para pesar las probetas con una precisión de 0,1% de su masa en estado seco.

## 6 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

### 6.1 Muestreo

El método de muestreo responderá al proyecto de Norma Europea prEN 771. El número mínimo de probetas debe ser de seis, pero puede aumentarse según la norma de especificaciones del producto en cuyo caso se utilizará el número mayor.

### 6.2 Secado

Se secan las probetas de ensayo a masa constante  $m_{\text{seco},s}$  en una estufa (véase el apartado 5.4) a una temperatura de 70 °C ± 5 °C para bloques de hormigón de áridos naturales o de machaqueo, o 105 °C ± 5 °C para los bloques cerámicos. La masa constante se alcanza, si durante el proceso de secado sucesivos efectuados en 24 h de intervalo, la pérdida de masa entre dos pesadas no supera 0,1% de la masa total.

## 7 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

Las probetas se dejan enfriar a temperatura ambiente. Una vez enfriadas, medir las dimensiones de cada una de las caras sumergidas conforme al proyecto de Norma Europea prEN 772-16 y se calcula su superficie bruta  $A_s$ . Se colocan las probetas, sobre el soporte (véase el apartado 5.2) (cara de agarre para los bloques cerámicos) de manera que no toquen el fondo del recipiente (véase el apartado 5.1) y que sean sumergidas en el agua a una profundidad de 5 mm ± 1mm durante toda la duración del ensayo. En los casos en que los bloques en que la superficie sea extremadamente irregular, aumentar el nivel de agua de manera que toda su superficie esté en contacto con el agua.

Se activa el dispositivo de medida de tiempo. Se mantiene el nivel de agua constante a lo largo del ensayo añadiendo agua si fuera necesario. Para los bloques de hormigón con áridos naturales o de machaqueo, se cubre el recipiente para evitar la evaporación de las probetas húmedas.

Después del tiempo de inmersión ( $t_{so}$ ) especificado en los proyectos de Norma Europea prEN 771-1, prEN 771-3, prEN 771-5 ó prEN 771-6 se retiran las probetas, se escurren el agua de la superficie y se pesan ( $m_{so,s}$ ).

Para los bloques de piedra natural, sacar las probetas del agua a intervalos regulares y escurrir el agua, pesar las probetas, y sumergirlas de nuevo. Continuar el procedimiento hasta que no observemos aumento de masa.

## 8 CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

### 8.1 Coeficiente de absorción de agua por capilaridad en bloques de hormigón con áridos naturales o de machaqueo

Se calcula el coeficiente de absorción de agua por capilaridad para cada probeta  $1\text{ g}/(\text{m}^2 \times \text{s}^{0,5})$  utilizando la siguiente fórmula:

$$C_{w,s} = \frac{m_{so,s} - m_{seco,s}}{A_s \sqrt{t_{so}}} \times 10^6 \left[ \text{g} / (\text{m}^2 \times \text{s}^{0,5}) \right]$$

Para bloques de albañilería en piedra natural trazar un diagrama  $\frac{m_{so,s} - m_{seco,s}}{A_s}$  con relación a la raíz cuadrada del tiempo de inmersión, en segundos. Se calcula  $C_{w,s}$  como gradiente de la parte lineal inicial del diagrama.

### 8.2 Tasa inicial de absorción de agua de los bloques de arcilla cocida

Se calcula la tasa inicial de absorción de cada bloque cerámico de tierra cocida cercano a  $0,1\text{ kg}/(\text{m}^2 \times \text{min})$  utilizando la siguiente fórmula:

$$C_{wi,s} = \frac{m_{so,s} - m_{seco,s}}{A_s t} \times 10^3 \left[ \text{kg} / (\text{m}^2 \times \text{min}) \right]$$

donde  $t = 1\text{ min}$ .

## 9 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

Para los bloques de albañilería de hormigón celular de autoclave, de áridos naturales o de machaqueo, calcular la media de los coeficientes de absorción de agua por capilaridad redondeando al  $1\text{ g}/(\text{m}^2 \times \text{s}^{0,5})$  más cercano.

Para bloques de tierra cocida, se calcula la media de las tasas iniciales de absorción de agua redondeando al  $0,1\text{ kg}/(\text{m}^2 \times \text{min})$  más cercano.

## 10 INFORME DEL ENSAYO

El informe del ensayo debe contener la siguiente información:

- número, título y fecha de publicación de esta norma europea;
- nombre del organismo que ha efectuado los ensayos y el método utilizado;
- fecha del ensayo (sólo para los bloques en hormigón con áridos y áridos de machaqueo);
- descripción de las probetas conforme al proyecto de Norma Europea prEN 771;
- número de probetas de las muestras, si se tratara de bloques enteros o de partes representativas de los mismos;
- fecha de recepción de las probetas por el laboratorio de ensayo;
- para los bloques de hormigón con áridos naturales o de machaqueo los valores individuales del coeficiente de absorción de agua por capilaridad redondeando al  $1\text{ g}/(\text{m}^2 \times \text{s}^{0,5})$  más cercano, la duración de la inmersión y el coeficiente medio de absorción de agua por capilaridad redondeando al  $1\text{ g}/(\text{m}^2 \times \text{s}^{0,5})$  más cercano;

- h) para los bloques en arcilla cocida, los valores individuales de la tasa inicial de absorción de agua redondeando al  $0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \times \text{min})$  más cercano y el valor medio de las tasas iniciales de absorción de agua redondeando al  $0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \times \text{min})$  más cercano;
- i) todas las observaciones eventuales.

---

# AENOR

Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32

Mayo 2006

### TÍTULO

**Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería**

**Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería, en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería**

*Methods of test for masonry units. Part 11: Determination of water absorption of aggregate concrete, manufactured stone and natural stone masonry units due to capillary action and the initial rate of water absorption of clay masonry units.*

*Méthodes d'essai des éléments de maçonnerie. Partie 11: Détermination de l'absorption de l'eau par capillarité des éléments de maçonnerie en béton de granulats, en pierre reconstituée et naturelle et du taux initial d'absorption d'eau des éléments de maçonnerie en terre cuite.*

### CORRESPONDENCIA

Esta 1ª modificación es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 772-11:2000/A1 de marzo de 2004.

### OBSERVACIONES

Esta 1ª modificación complementa y modifica a la Norma UNE-EN 772-11 de marzo de 2001.

### ANTECEDENTES

Esta modificación ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 41 *Construcción* cuya Secretaría desempeña AENOR.

Editada e impresa por AENOR  
Depósito legal: M 23104:2006

© AENOR 2006  
Reproducción prohibida

**upna**  
Universidad  
Pública de Navarra  
Normativa  
Universitaria Pública  
Todos los derechos reservados  
Eskubide guztiak erresaltatu dira

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

**AENOR**

C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Teléfono 91 432 60 00  
Fax 91 310 40 32

6 Páginas

**Grupo 3**





ICS 91.100.15; 91.100.30

Versión en español

## **Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería**

### **Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería, en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería**

**Methods of test for masonry units.  
Part 11: Determination of water absorption of aggregate concrete, manufactured stone and natural stone masonry units due to capillary action and the initial rate of water absorption of clay masonry units.**

**Méthodes d'essai des éléments de maçonnerie. Partie 11: Détermination de l'absorption de l'eau par capillarité des éléments de maçonnerie en béton de granulats, en pierre reconstituée et naturelle et du taux initial d'absorption d'eau des éléments de maçonnerie en terre cuite.**

**Prüfverfahren für Mauersteine.  
Teil 11: Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme von Mauersteinen aus Beton, Betonwerksteinen und Natursteinen sowie der anfänglichen Wasseraufnahme von Mauerziegeln.**

Esta modificación A1 a la Norma Europea EN 772-11:2000 ha sido aprobada por CEN el 2003-12-24. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en el Centro de Gestión de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

**CEN**  
**COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN**  
European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung  
**CENTRO DE GESTIÓN: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles**

© 2004 Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

## ÍNDICE

	Página
<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>5</b>
<b>1      Modificaciones en el capítulo 1 .....</b>	<b>6</b>
<b>2      Modificaciones en el capítulo 2 .....</b>	<b>6</b>
<b>3      Modificaciones en el capítulo 3 .....</b>	<b>6</b>
<b>4      Modificaciones en el capítulo 4 .....</b>	<b>6</b>
<b>5      Modificaciones en el apartado 5.4.....</b>	<b>6</b>
<b>6      Modificaciones en el apartado 6.2.....</b>	<b>6</b>
<b>7      Modificaciones en el capítulo 7 .....</b>	<b>6</b>
<b>8      Modificaciones en el apartado 8.1.....</b>	<b>6</b>
<b>9      Modificaciones en el capítulo 9 .....</b>	<b>6</b>
<b>10     Modificaciones en el capítulo 10 .....</b>	<b>6</b>

## PRÓLOGO

Esta Norma Europea EN 772-11:2000/A1:2004 ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 125 *Albañilería*, cuya Secretaría desempeña BSI.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de septiembre de 2004, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de septiembre de 2004.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, están obligados a adoptar esta norma europea los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

**Modificación en el título**

Insertar en el título las palabras "hormigón celular curado en autoclave" tras "hormigón".

**1 Modificaciones en el capítulo 1**

Insertar en la línea 2 las palabras "hormigón celular curado en autoclave" tras "hormigón".

**2 Modificaciones en el capítulo 2**

Insertar la siguiente referencia normativa:

EN 771-4 – *Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 4: Bloques de hormigón celular curado en autoclave.*

**3 Modificaciones en el capítulo 3**

Insertar en el segundo párrafo las palabras "hormigón celular curado en autoclave" tras "hormigón" y eliminar "con áridos".

**4 Modificaciones en el capítulo 4**

Insertar en la descripción del símbolo  $C_{w,s}$  las palabras "hormigón celular curado en autoclave" tras "hormigón", eliminar "con áridos naturales" y sustituir por "de piedra natural".

**5 Modificaciones en el apartado 5.4**

Insertar en la línea 1 las palabras "hormigón celular curado en autoclave" tras "hormigón", eliminar "con áridos naturales" y sustituir por "de piedra natural".

**6 Modificaciones en el apartado 6.2**

Insertar en la línea 2 las palabras "hormigón celular curado en autoclave" tras "hormigón", eliminar "con áridos naturales" y sustituir por "de piedra natural".

**7 Modificaciones en el capítulo 7**

Insertar en el segundo párrafo las palabras "hormigón celular curado en autoclave" tras "hormigón", eliminar "con áridos naturales" y sustituir por "de piedra natural".

Insertar en el tercer párrafo EN 771-4 tras prEN 771-3.

**8 Modificaciones en el apartado 8.1**

Insertar en el título del apartado las palabras "hormigón celular curado en autoclave" tras "hormigón", eliminar "con áridos naturales" y sustituir por "de piedra natural".

**9 Modificaciones en el capítulo 9**

Insertar "hormigón" en la línea 1 antes de las palabras "hormigón celular curado en autoclave", eliminar "con áridos naturales" y sustituir por "de piedra natural".

**10 Modificaciones en el capítulo 10**

Insertar en los apartados c) y h) las palabras "hormigón celular curado en autoclave" tras "hormigón", eliminar "con áridos y áridos" y sustituir por "piedra".



---

# AENOR

Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32

# norma española experimental

UNE 67028 EX

Octubre 1997

## TÍTULO

**Ladrillos cerámicos de arcilla cocida**

**Ensayo de heladicidad**

*Clay bricks. Freezing test.*

*Briques en terre cuite. Essai de gélivité.*

## CORRESPONDENCIA

## OBSERVACIONES

Esta norma experimental anula y sustituye a la Norma UNE 67028 EX de julio de 1995.

## ANTECEDENTES

Esta norma experimental ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 136 *Materiales Cerámicos de Arcilla Cocida para la Construcción* cuya Secretaría desempeña HISPALYT.

Editada e impresa por AENOR  
Depósito legal: M 35781:1997

©AENOR 1997  
Reproducción prohibida

 upna  
Universidad  
Pública de Navarra  
Normales  
Universitarias

Todos los derechos reservados  
Eskubide guztiak erresalbatu dira

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

**AENOR**

C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Teléfono (91) 432 60 00  
Fax (91) 310 40 32

3 Páginas

**Grupo 2**

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD PUBLICA DE NAVARRA





## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma tiene por objeto describir el método de ensayo que permite determinar el comportamiento frente a la acción del hielo de los ladrillos cerámicos empleados en construcción especificados en la Norma UNE 67019.

## 2 NORMAS PARA CONSULTA

UNE 67019 – *Ladrillos cerámicos de arcilla cocida. Definiciones, clasificación y especificaciones.*

## 3 TOMA DE MUESTRAS

Las probetas para el ensayo de heladicidad serán piezas enteras. El tamaño de la muestra será de seis probetas.

En cada una de las probetas se marcarán, si procede, los defectos estructurales visibles que se presenten.

## 4 APARATOS EMPLEADOS

Para la realización de este ensayo se necesitan los siguientes aparatos:

- Cámara frigorífica capaz de alcanzar la temperatura de  $-15\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  en un período máximo de 7 h.
- Tanque de deshielo con las medidas necesarias para permitir la inmersión completa de las probetas, y con un volumen de agua suficiente para recuperar la temperatura de  $15\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  en un período máximo de 3 h.

## 5 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

Se introducen las 6 probetas en el tanque de deshielo durante 48 h a una temperatura de  $15\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ , de forma que la inmersión completa de las probetas se produzca gradualmente en un tiempo mínimo de 3 h. Transcurridas las 48 h, se sacan del agua y se dejan escurrir durante 1 min, introduciéndolas en la cámara frigorífica a  $-15\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ , de forma que no exista contacto entre ellas ni con las paredes de la cámara.

Se mantienen así durante 18 h, permaneciendo al menos 11 h a  $-15\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .

Seguidamente se introducen en el tanque de deshielo durante 6 h.

Este ciclo hielo-deshielo se repite 25 veces.

Durante cualquier período de interrupción, las probetas se mantendrán en la cámara frigorífica a  $-15\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .

En el caso de que los ciclos hielo-deshielo se realicen en una cámara frigorífica con circulación de aire, debido a su mayor capacidad de transferencia térmica, la temperatura de congelación será de  $8\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ , pudiendo acortarse los tiempos de los ciclos a 5 h de congelación y 1 h de deshielo, siempre que quede garantizado que a las 2 h de iniciado el ciclo de congelación se ha alcanzado la temperatura de  $8\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ .

En ambos procedimientos, la velocidad de descenso de la temperatura en la cámara frigorífica no será superior a  $20\text{ °C/h}$ .

## 6 OBTENCIÓN DE RESULTADOS

Completados los 25 ciclos de hielo-deshielo, se procede a la inspección ocular de las piezas, comprobando que durante el ensayo no se han producido roturas, exfoliaciones, ni desconchados de dimensión media superior a 15 mm en cualquier parte de la pieza, según las definiciones dadas en la norma UNE 67019.

La aparición durante el ensayo de cualquiera de los defectos citados, en alguna de las probetas de la muestra, o de más de una pieza fisurada según la Norma UNE 67019, califica al ladrillo como heladizo.

Cuando el resultado sea heladizo, se deberá adjuntar al informe del ensayo una o varias fotografías mostrando los defectos observados.

---

---

# AENOR

Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Teléfono (91) 432 60 00

Fax (91) 310 40 32